SCIENCES ET AVENIR
Sciencesetavenir.fr

Spécial Mondial
20 pages p.107
LA VOITURE CONNECTÉE

On peut prévenir Alzheimer

Les 5 recommandations des scientifiques pour se protéger p.30

OCTOBRE 2014 - N° 812 - BELGIQUE : 4.90 € / LUXEMBOURG : 4.90 € / SUISSE : 7.20 FS / AUTRICHE : 4.90 € / ESPAGNE : 5.00 € / ITALIE : 4.90 € / ALLEMAGNE : 6.80 € / PORTUGAL : 4.90 € / GRÈCE : 4.90 € / GUYANE : 4.90 € / ANTILLES - RÉUNION : 4.70 € / MAROC : 42. MAD / TUNISIE : 5.80 TND / CANADA :6.99$ CAN / ETATS-UNIS : 6.99 $ US / TOM : 730 XPF / TOM (AVION) 1400 XPF
M 02667 - 812 - F: 4,30 € - RD

© GETTY IMAGES/MALLISIA IMAGES - RENAULT

Là où le monde s'uniformise,

nous sommes l'inattendu.

Laissez-vous séduire par le parfait équilibre entre l'élégance et le raffinement du Galaxy Alpha. Seulement 6,7 mm d'épaisseur pour une sensation unique.
Matières rigoureusement sélectionnées, délicatesse des finitions en aluminium, ajustement millimétré des pièces, chanfreins polis : chaque détail a été pensé pour faire du Samsung Galaxy Alpha la nouvelle référence en termes d'élégance.

JUST ALPHA

Samsung GALAXY ALPHA

www.samsung.com/fr/galaxyalpha

Just Alpha = Simplement Alpha

DAS tête: 0.400 W/kg. DAS Corps: 0,506 W/kg. Le DAS (débit d'absorption spécifique des téléphones mobiles) quantifie le niveau d'exposition maximal de l'utilisateur aux ondes électromagnétiques, pour une utilisation à l'oreille. La réglementation française impose que le DAS ne dépasse pas 2W/kg.
© 2014 - Samsung Electronics France. Ovalie. CS 2003. 1 rue Fructidor. 93484 Saint-Ouen Cedex. RCS Bobigny 334 367 497. Civil

ÉDITO

Dominique Leglu
Directrice de la rédaction

Retarder Alzheimer

Disons-le tout net, ce fut un choc. Un choc d'apprendre que la maladie d'Alzheimer se déclenche beaucoup plus tôt que tout ce qu'on a pu comprendre jusqu'à présent. C'est à l'âge mûr (50-60 ans) qu'elle apparaît et ce, de façon silencieuse. Par imagerie, il est possible de déceler des agrégats anormaux caractéristiques de cette pathologie cérébrale, alors même qu'aucun symptôme ne transparaît chez l'individu examiné. Fort heureusement, ce dernier, pendant encore des années voire des décennies, peut ne jamais présenter de troubles. Preuve que notre cerveau, même atteint, fait de la résistance. Reste qu'il faut l'y aider. Et si possible, de façon raisonnée. D'où le titre que *Sciences et Avenir* a choisi de mettre en couverture ce mois-ci avec un seul mot d'ordre : pré-ve-nir !

En clair, de passifs et résignés voire apeurés face à la maladie, devenons actifs et même combatifs. Arrêtons au premier chef de ne voir en Alzheimer qu'une pathologie de gens âgés, pour laquelle on se contenterait, si l'on peut dire, d'attendre l'éclosion de recherches inédites, la réussite de nouveaux essais cliniques — d'ailleurs en cours et prometteurs *(lire pp. 40-41)*, avec enfin l'arrivée de médicaments véritablement efficaces. Comprenons, comme le proclame Harald Hampel, l'un des meilleurs connaisseurs de la maladie, que *« nous pouvons tous faire quelque chose pour retarder Alzheimer » (p. 32)*. Et ce depuis notre plus jeune âge. Il nous faut nous prendre en main et le faire savoir ! Tel est aussi le message des spécialistes. Les leviers à notre portée ? Nous les détaillons pp. 34-35, en 5 recommandations principales. Des préconisations d'autant plus intéressantes qu'elles s'adressent, et c'est là une bonne nouvelle, à tous les âges de la vie. Promouvoir l'activité physique dès l'enfance et pendant toute la jeunesse, la poursuivre ensuite à l'âge mûr, ne serait-ce qu'en montant des escaliers ou en marchant chaque jour une demi-heure à une heure. Très important aussi, et ce n'est pas à vous, lecteurs de *Sciences et Avenir*, qu'il faut l'apprendre : il est bénéfique de renforcer ses neurones en poussant l'éducation aussi loin que possible ! Une longue scolarité, stimulante, avec l'apprentissage de plusieurs langues crée une sorte de protection, foi de chercheurs. Et s'il est un conseil, c'est bien celui de ne cesser d'entretenir cette activité intellectuelle. Mais il y a aussi l'alimentation à savoir choisir (1), et... ses amis ou compagnons pour partager toutes sortes d'activités : musique, cartes, randonnée. Outre une surveillance particulière vis-à-vis de pathologies telles que le diabète, l'hypertension ou l'excès de cholestérol, ainsi qu'un usage sévèrement limité des benzodiazépines que *Sciences et Avenir* a prôné depuis plusieurs années (2), toutes ces préconisations pourraient sembler aller de soi. Pourtant, c'est bien un style de vie « protecteur » qu'il nous faut plus que jamais adopter, insistent aujourd'hui les spécialistes. Car les symptômes de la maladie peuvent ainsi être retardés si nos gènes nous y prédisposent, assurent-ils. Et ça, c'est de l'espoir.

(1) Lire aussi « Les aliments qui protègent vraiment » *S. et A.*, n° 811, septembre 2014.
(2) Lire aussi « Ces médicaments qui favorisent Alzheimer », *S et A*, n° 776, octobre 2011.

SCIENCES ET AVENIR

41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris
Tél. : - 01.55.35.56.00. Fax : - 01.55.35.56.04
E-mail : redaction@sciencesetavenir.fr - Site Internet : sciencesetavenir.fr

Directrice de la rédaction
Dominique LEGLU - 01.55.35.56.02
assistée de Valérie PELLETIER - 01.55.35.56.01

Rédacteurs en chef
Carole CHATELAIN (mensuel) - 01.55.35.56.57
Aline KINER (hors-série) - 01.55.35.56.42
Olivier LASCAR (pôle digital) - 01.55.35.56.15

Adjoint à la rédaction en chef
Laurent PERICONE (édition) - 01.55.35.56.10

Rédactrices en chef adjointes
Andreina DE BEI
(photo-iconographie) - 01.55.35.56.31
Stéphane DESMICHELLE
(pôle digital) - 01.55.35.56.24

Direction artistique
Thierry VERRET (conception)
Dominique PASQUET
(couverture) - 01.44.88.35.51
Jean-Louis GILABERT
(directeur artistique) - 01.55.35.56.28
Thalia STANLEY
(directrice artistique adjointe) - 01.55.35.56.21

Secrétaire générale de rédaction
Véronique MESSAGER - 01.55.35.56.18

Chefs de service
Rachel MULOT (enquêtes) - 01.55.35.56.07
Mathieu NOWAK (actualités, rendez-vous) - 01.55.35.56.38

Adjoint au chef de service
Hervé RATEL (actualités) - 01.55.35.56.45

Chefs de rubrique
Azar KHALATBARI (fondamental, sciences de la Terre) - 01.55.35.56.46
Sylvie RIOU-MILLIOT
(médecine, santé) - 01.55.35.56.54

Rédaction
Bernadette ARNAUD grand reporter
(archéologie, histoire) - 01.55.35.56.44
Arnaud DEVILLARD (numérique, data, généraliste) - 01.55.35.56.27
Marc GOZLAN (médecine bio, généraliste) - 01.55.35.56.60
Olivier HERTEL (technologie, futur, décryptage) - 01.55.35.56.03
Sylvie ROUAT
(espace, océanologie) - 01.55.35.56.40
Elena SENDER grand reporter
(biologie, neurosciences) - 01.55.35.56.43

Collaborateurs
Johan KIEKEN, Loïc CHAUVEAU, Marie-Noëlle DELABY, Pierre MIQUEL, Henri-Pierre PENEL

Assistante de rédaction
Isabelle RUDI-HOUET - 01.55.35.56.30 - irudi@sciencesetavenir.fr

Ont participé à ce numéro
N. BANCAL, A. BOEHLY, L. BRASIER, S. DAMANT, F. DANINOS, R. GANCEL, J.-F. HAÎT, P. KALDY, M KERGOAT, F. LEROY, P. PISANI, A. REBMANN, L SAMPAIX, N. VALEANO

Secrétariat de rédaction
Frank MIETTON (1er secrétaire) - 01.55.35.56.17

Maquette
Horia BAHRI - 01.55.35.56.19

Photo-iconographie
Isabelle TIRANT - 01.55.35.56.32

Illustration
Betty LAFON - 01.55.35.56.37

Photogravure
Karine HUET - 01.55.35.56.25

Pôle digital
Lise LOUMÉ (rédactrice santé) - 01.55.35.56.39
Damien HYPOLITE
(chef de projet infographie) - 01.55.35.56.23
Joël IGNASSE
(rédacteur spécialisé) - 01.55.35.56.15
Hugo JALINIÈRE (rédacteur santé) - 01.55.35.56.52
Erwan LECOMTE
(chef de rubrique) - 01.55.35.56.56

Documentation
Isabelle DO O'GOMES (chef de service) - 01.55.35.56.49
Astrid SAINT AUGUSTE - 01.55.35.56.48

RENSEIGNEMENTS AUX LECTEURS, VENTE AU NUMÉRO
Isabelle RUDI-HOUET 01.55.35.56.50/56.30
41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris.
courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr

Fabrication
Xavier LOTH (directeur de la fabrication)
Stéphanie TERREAU (chef de fabrication)
Pierre LE SECH - 01.44.88.36.27

Informatique
Daniel DE LA REBERDIÈRE - 01.55.35.56.06

Comptabilité - Ressources humaines
Mélanie BENKHEDIMI - 01.55.35.56.14
Nathalie TRÉHIN - 01.55.35.56.13

ABONNEMENTS
Tél. : 01.40.26.86.11
142, rue Montmartre, 75103 Paris Cedex 02
abonnements@sciencesetavenir.fr

Tarif des abonnements :
France, 1 an simple (12 numéros) : 35 €. 1 an complet (12 numéros + 4 hors-séries) : 48 €. Tarifs pays étrangers sur demande.
Abonnements Belgique : Partner Press, tél. : 00.32.2.556.41.40 – www.viapresse.be

PUBLICITÉ
MediaObs. 44, rue Notre-Dame-des-Victoires 75002 Paris
Tél. : 01.44.88.97.70. Fax : - 01.44.88.97.79.
Courriel : l'initiale du prénom puis nom suivi de @mediaobs.com

Directrice générale
Corinne ROUGÉ - 01.44.88.93.70
assistée de Marie-Noëlle MAGGIE - 01.44.88.93.70
Directeur de publicité : Sylvain MORTREUIL - 01.44.88.97.75
Directrice de clientèle et responsable Web :
Karine GROSSMAN - 01.44.88.89.08
Assistante commerciale : Séverine LECLERC - 01.44.88.97.57
Exécution : Nicolas NIRO - 01.44.88.89.26
Administration des ventes : Caroline HAHN - 01.44.88.97.58

VENTES
Numéro vert (réservé aux diffuseurs de Paris et aux dépôts)
0.800. 24.69.33

Directeur commercial
Jean-Claude ROSSIGNOL - 01.44.88.35.40
Directrice commerciale adjointe
Paule COUDERAT - 01.44.88.34.55
Directeur des ventes
Valéry SOURIEAU
Directeur des abonnements
Philippe MENAT - 01.44.88.35.02 assisté de Lina QUACH 34.54
Relations extérieures
France ROQUE - 01.44.88.35.79

Sciences et Avenir SAS
Président, Directeur de la publication :
Claude PERDRIEL

Multimédia : ID OBS, 10-12, place de la Bourse, 75002 Paris. Tél : - 01.44.88.34.34.
Imprimerie SEGO-Taverny. Distribution Presstalis.

OJD PRESSE PAYANTE Diffusion Contrôlée 2013

Les noms et adresses de nos abonnés seront communiqués aux organismes liés contractuellement avec Sciences et Avenir, sauf opposition. Dans ce cas, la communication sera limitée au service de l'abonnement. Ce numéro comprend, jetés sur couverture, un encart Atlas sur la totalité de la diffusion abonnés et, en diffusion partielle des abonnés, un message Pure Pepper, un catalogue Objets du mois, un message Le Point et un message Mieux vivre votre argent. Commission paritaire n° 0615 K 79712. ISSN 00368636. Distribué par Presstalis.

NISSAN

Innovation that excites

NOUVEAU NISSAN X-TRAIL.
SOYEZ PRÊT À LE SUIVRE.

7 PLACES. PARCE QUE LA VIE DE FAMILLE EST UNE GRANDE AVENTURE.

Vous avez une grande famille ? Alors les week-ends animés, vous connaissez bien. Avec son option sept places et son coffre spacieux et modulable, le nouveau Nissan X-TRAIL a tout prévu pour accueillir cette joyeuse agitation en toute sérénité. Le plus dur maintenant sera de vous mettre d'accord sur votre prochaine destination de week-end.

Pour plus d'informations, rendez-vous sur nissan.fr
Retrouvez l'actualité de Nissan sur facebook.com/nissanfrance

#XTRAILaventure

Innover autrement. **Modèle présenté** : nouveau Nissan X-TRAIL Tekna dCi 130 avec option peinture métallisée et option 7 places. NISSAN WEST EUROPE SAS au capital de 5 610 475 €, RCS Versailles B 699 809 174 - Parc d'Affaires du Val Saint-Quentin - 2 rue René Caudron - CS 10213 - 78961 Voisins-le-Bretonneux Cedex.

Consommations gamme cycle mixte (l/100 km) : 4,9 - 5,3. Émissions de CO_2 (g/km) 129 - 139.

SUZUKI

Way of Life!*

Encore une bonne journée...

Et c'est comme ça tous les jours.

CO2&CO - Siret 390295 244 000 11

Jusqu'au **15 décembre** profitez de

5 ANS D'ENTRETIEN + GARANTIE + ASSISTANCE

Jusqu'à **2700 €** d'avantages offerts(1)

Offre non cumulable avec d'autres remises en cours.

SUZUKI

S-CROSS

Plus qu'une voiture, un état d'esprit.

Modèle présenté : Suzuki S-Cross 1.6 VVT Pack : 22 290 € + peinture métallisée 530 €. Consommations mixtes CEE gamme Suzuki S-Cross (l/100km) : 4,4 – 5,7. Emissions CO_2 (g/km) : 114 – 130. (1) Offre 5 ans entretien, garantie et assistance : Contrat « Premium Club » 5 ans comprenant l'entretien, selon les préconisations Suzuki (hors pneumatiques), l'extension de garantie (au terme de la garantie constructeur) et l'Assistance 24/24, kilométrage illimité. Voir modalités de souscription, conditions générales et exclusions disponibles sur simple demande en concession. Offre valable pour les véhicules S-Cross essence et S-Cross Diesel, d'une valeur totale de contrat tarif public respectivement de 2 217 € TTC et 2 706 € TTC. Les prestations panne mécanique et Assistance sont gérées par la société Opteven Assurances : Société d'assistance au capital de 5 335 715 euros - Siège social : 35-37 Rue Louis Guérin 69100 VILLEURBANNE - RCS Lyon n°379 954 886. Les prestations d'entretien sont gérées par Opteven Services : SA au capital de 365 878 euros - Siège social : 35-37 Rue Louis Guérin 69100 VILLEURBANNE RCS Lyon. 333 375 426. Les prestations Pannes Mécaniques et l'Assistance Opteven Assurances peuvent être souscrites indépendamment, à des conditions disponibles auprès d'Opteven Assurances ; de même les prestations Entretien peuvent être souscrites indépendamment, à des conditions disponibles auprès d'Opteven Services. Offre non cumulable avec d'autres remises en cours. Offre promotionnelle valable pour toutes commandes d'un S-Cross neuf jusqu'au 15/12/2014, chez les concessionnaires participants, dans la limite des stocks disponibles. Offres réservées aux particuliers, en France métropolitaine, non cumulable avec d'autres remises en cours. Tarif au 01/07/2014. *Way of Life!: Un style de vie ! **www.suzuki.fr**

GETTY IMAGES/KALLISTA IMAGES

DOSSIER P. 30

On peut prévenir Alzheimer

Retarder de plusieurs années l'apparition de cette maladie, c'est possible, affirment les scientifiques.

3 Édito par Dominique Leglu
9 Courrier

ÉVÉNEMENT

10 Dans les secrets de la civilisation maya

SCIENCES FONDAMENTALES

14 ACTUALITÉS / Laniakea, notre adresse dans l'Univers / Le chat de Schrödinger pris en photo
42 À la chasse aux bulles cosmiques
46 Les petits réacteurs, une autre voie pour l'industrie nucléaire
50 Menace de pénurie sur l'imagerie médicale
51 Livres

HISTOIRE

16 ACTUALITÉS / Des phoques ont importé la tuberculose en Amérique / La généalogie des Inuits se précise
52 Le mystérieux peuple des jarres
56 Neandertal, un artiste controversé
58 Lyon retrouve ses origines gauloises
59 Livres

NATURE

20 ACTUALITÉS / Un destructeur d'ozone persiste / Les chevaux communiquent avec les oreilles
60 Les champignons, ces inconnus de nos forêts
64 Les biocarburants passent la seconde
67 Le seul insecte connu en Antarctique livre ses secrets
68 Yakoutsk, ville du froid extrême
69 Livres

SANTÉ

24 ACTUALITÉS / Implantation de la première vertèbre en 3D / Des anticorps guérissent des singes d'Ebola
70 Opérer les tumeurs du cerveau sans endormir
74 Peut-on apprécier la viande de gibier?
76 Hervé Chneiweiss, la science en tête
78 Revue de presse
79 Un excès de synapses chez les autistes
79 Livres

HIGH-TECH

28 ACTUALITÉS / L'éolienne couchée est dans le vent / L'avion électrique décolle à la verticale
80 Les nouvelles frontières de la reconnaissance faciale
84 Le kit informatique du parfait espion
86 Les vitres, prochain eldorado de l'énergie solaire
87 Un sous-marin supersonique
87 Livres

SCIENCE PRATIQUE

96 La planète vit-elle à crédit?
98 Accéder à la très haute fidélité
102 L'observation du ciel d'octobre
104 Rendez-vous
106 L'info en continu sur sciencesetavenir.fr

ROMULO REJON / GETTY IMAGES

La civilisation maya s'expose au musée du Quai-Branly, à Paris p. 10

NASA/JPL-CALTECH/R.SIMPSON

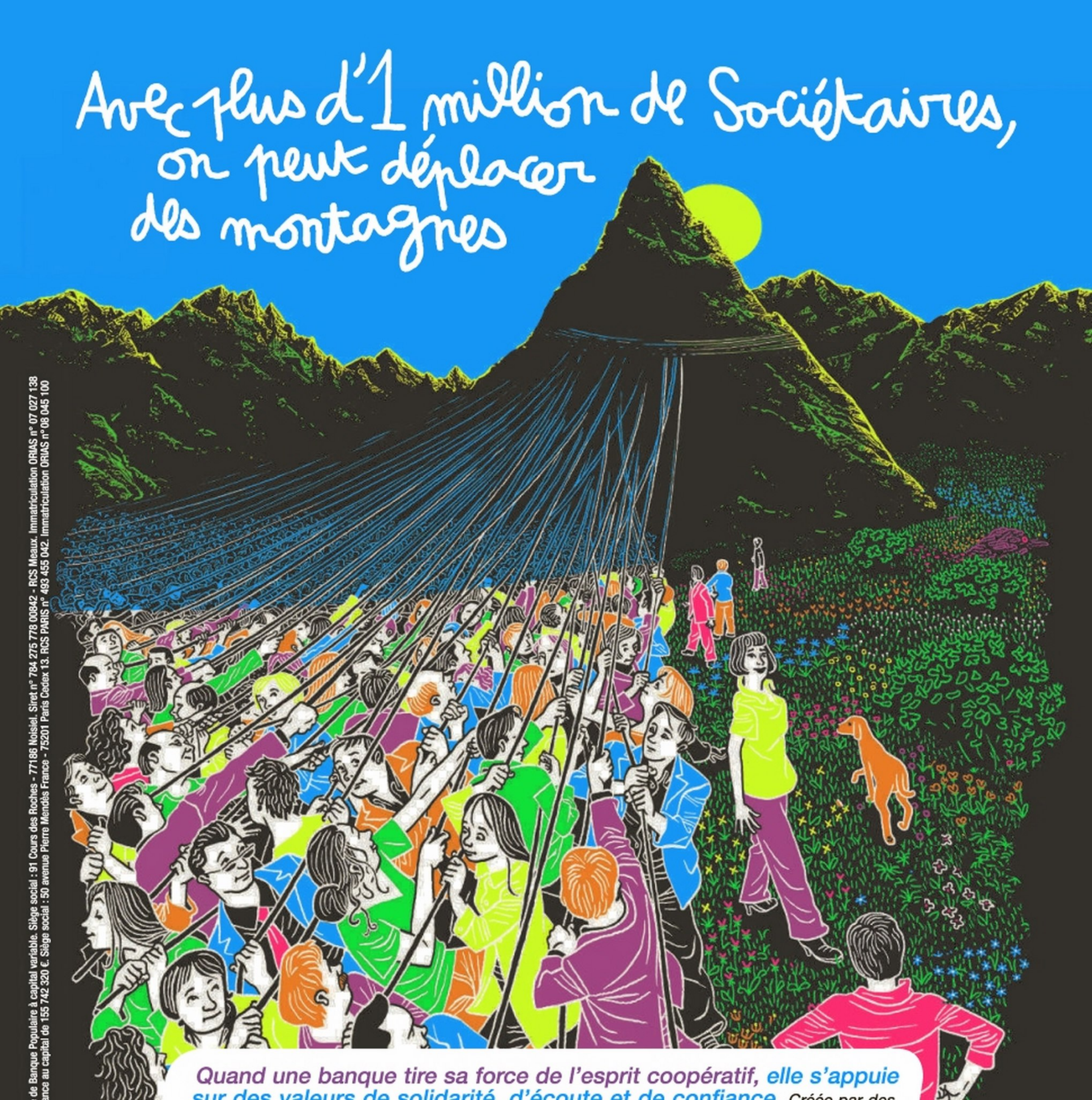
Des amateurs aident les chercheurs à traquer les « bulles cosmiques » p. 42

GM

SPÉCIAL MONDIAL DE L'AUTO DE PARIS
Du 4 au 19 octobre 2014

La course à la voiture connectée p. 107

Avec plus d'1 million de Sociétaires,
on peut déplacer
des montagnes



Quand une banque tire sa force de l'esprit coopératif, elle s'appuie sur des valeurs de solidarité, d'écoute et de confiance. Créée par des enseignants, la CASDEN s'engage ainsi auprès de plus d'un million de Sociétaires à réinvestir leur épargne dans le financement des projets de chacun.

Rejoignez-nous sur **casden.fr** *ou contactez-nous au* **0826 824 400***

*Accueil téléphonique ouvert de 8h30 à 18h30 du lundi au vendredi (0,15€ TTC/min en France métropolitaine)

+X BANQUE POPULAIRE

L'offre CASDEN est disponible
en Délégations Départementales et
également dans le Réseau Banque Populaire.

casden BANQUE POPULAIRE

CASDEN, la banque coopérative de l'éducation, de la recherche et de la culture

CASDEN Banque Populaire - Société Anonyme Coopérative de Banque Populaire à capital variable. Siège social : 91 Cours des Roches - 77186 Noisiel. Siret n° 784 275 778 00842 - RCS Meaux. Immatriculation ORIAS n° 07 027 138
BPCE - Société anonyme à directoire et conseil de surveillance au capital de 155 742 320 €. Siège social : 50 avenue Pierre Mendès France - 75201 Paris Cedex 13. RCS PARIS n° 493 455 042. Immatriculation ORIAS n° 08 045 100
BROCA&WERNICKE - Illustration : Killoffer.

COURRIER

Courriels à : **redaction@sciencesetavenir.fr**

« Dieu et l'Univers »
n° 810 août 2014

Notre dossier sur Dieu a suscité beaucoup de réflexions. Nous remercions tous les lecteurs qui ont pris la peine de nous écrire. Voici les courriers de quelques-uns d'entre eux.

Vos articles sur ce thème ont attisé ma curiosité. L'état des lieux qui y est présenté est fort intéressant. Néanmoins, je suis quelque peu resté sur ma faim. Je n'y ai pas vu la moindre allusion sur le fait de la pensée. Certes, le thème sciences et religions y est abordé. Mais il s'agit de deux catégories bien distinctes. L'existence de l'Univers est bel et bien hors du bon vouloir de l'homme, ce qui n'est nullement le cas des religions. Or l'autre fait fondamental qui reste hors du bon vouloir de l'homme, qui existe quoi qu'il veuille, c'est bien le phénomène de la pensée.

Alain Guillon (courriel)

S. et A. : Il existe, bien sûr, de nombreuses autres manières de traiter le sujet, sous l'angle de la philosophie et de l'histoire des religions notamment. Cependant, en tant que magazine scientifique, il était pertinent que nous montrions que le renouveau de la question est également alimenté par les réflexions nées des avancées de la cosmologie.

[...] Il me semble que le seul fait que l'Univers soit témoigne indubitablement qu'il est l'émanation d'un au-delà duquel il tient son existence [...] Un au-delà auquel le croyant donne le nom de Dieu. **Marc Rameau** (89)

S. et A. : Comme nous l'avons mentionné dans le dossier, la science ne permet pas de conclure à l'existence ou non de Dieu. Tout est effectivement ensuite affaire de croyance.

[...] Après avoir lu votre dossier [...] je me permets de vous faire parvenir ce que je pense sur la "théorie du tout" de trois façons différentes. S'il y a création, le hasard n'existe pas... ou les transformations sont continues... ou encore cycliques.

Louis Van Meirhaegue (75)

S. et A. : En effet, l'hypothèse d'un Univers cyclique a souvent été pensée et a fait l'objet de développements par des physiciens les plus connus comme le Britannique Roger Penrose. Cependant, en l'état de nos connaissances, aucun indice ne permet d'abonder dans ce sens.

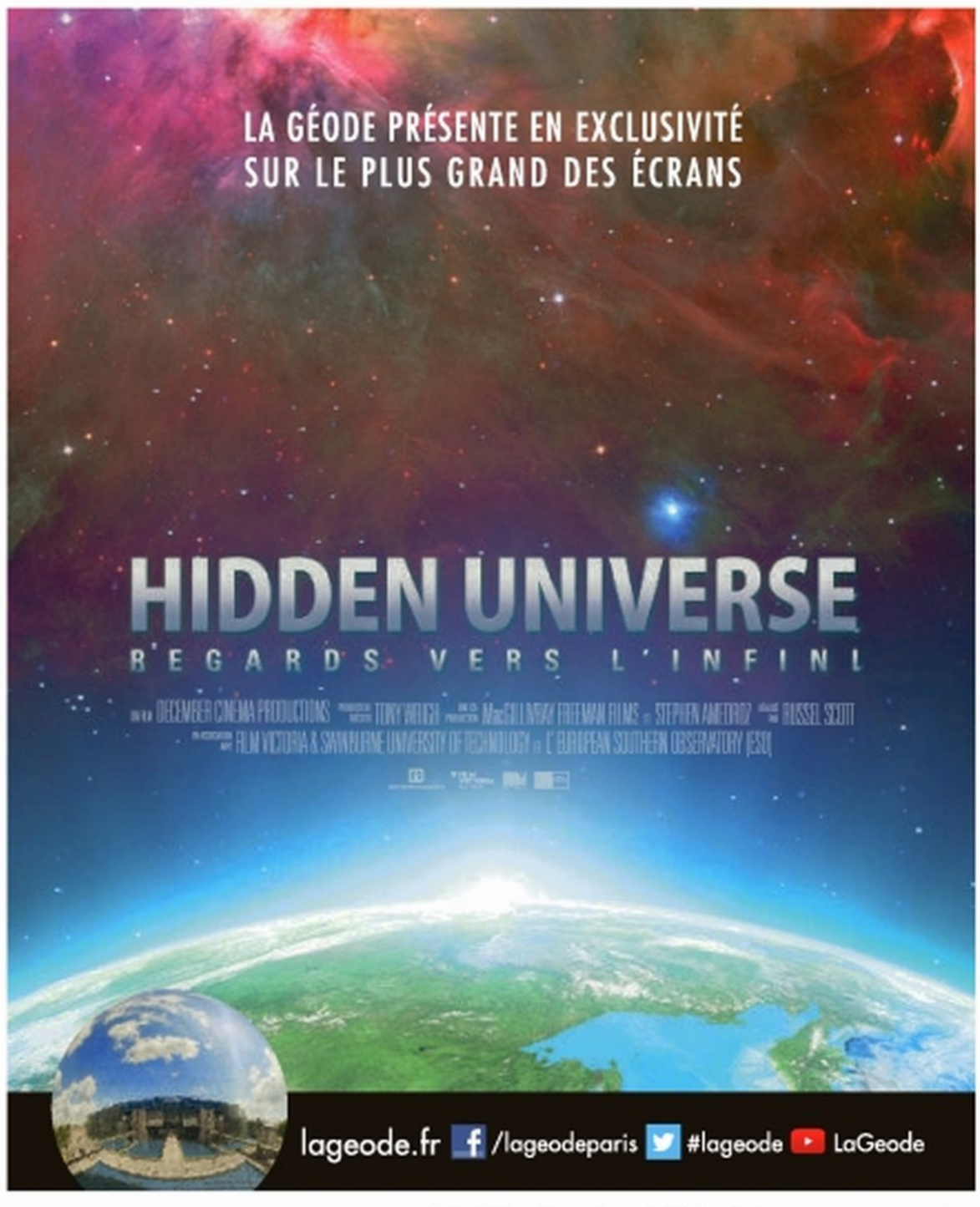
« Merci pour l'histoire du "selfie" qui n'en était pas un. Une info que je n'ai vue nulle part ailleurs ! Alors que cette histoire de singe qui aurait fait son autoportrait a été reproduite partout. Les journalistes ne se posent pas toujours les bonnes questions, on dirait ! Vous si. Bravo pour le sérieux et le poil d'humour. » **Charles Redon-Commard** (courriel)

SIPA

Le faux selfie du macaque
(*Sciences et Avenir* n° 811, septembre 2014).

Précision

Une erreur s'est glissée dans notre dossier « Ces aliments qui nous protègent » du n° 811 de septembre, page 33. L'huile d'olive n'est pas riche en oméga 3 mais en oméga 9. Que nos lecteurs nous en excusent ainsi que le Pr Loïc Bureau à qui nous avons malencontreusement prêté ces propos.



Sculpture dite de la Reine d'Uxmal, provenant de la façade d'un bâtiment du site d'Uxmal (Yucatán, Mexique).

Récipient funéraire orné d'une tête d'animal d'où émerge une tête humaine. Céramique provenant du site de Becán (Campeche, Mexique).

Vase Chaac (dieu de la Pluie). Céramique de l'époque postclassique retrouvée sur le site de Mayapán (Yucatán, Mexique).

Dans les secrets de la civilisation maya

Le musée du Quai-Branly, à Paris, accueille la plus grande exposition jamais réalisée en France sur ce peuple qui a longtemps dominé le monde mésoaméricain. L'occasion unique de découvrir la vision la plus complète de cette fascinante civilisation à la lueur des dernières découvertes.

PAR
Bernadette Arnaud

C'EST UN RÉCIPIENT FUNÉRAIRE qui, par chance, a échappé aux pilleurs. Découvert au Mexique dans une sépulture royale, ce plat porte un iguane sur son couvercle, de la gueule duquel sort une tête humaine *(voir photo ci-dessus)*. Puis, peint sur le support polychrome, le haut du corps de trois individus sectionné au niveau de la taille, d'où jaillissent des flots de sang... Cet objet au décor spectaculaire est l'une des 400 pièces d'exception prêtées par l'Institut national d'anthropologie et d'histoire du Mexique (Inam) au musée du Quai-Branly, à Paris, qui les présentera à compter du 7 octobre dans le cadre de la plus grande exposition jamais consacrée aux Mayas en France, la mise en scène étant signée de l'architecte Jean-Michel Wilmotte. Une civilisation énigmatique se cache derrière ces objets qui n'en finissent pas de fasciner.

PARTENARIAT SCIENCES AVENIR

LES MAYAS, Révélation d'un temps sans fin

- du 7 octobre au 8 février 2015.
- Musée du Quai-Branly, 37, quai Branly, 75007 Paris.

Une compétition de prestige permanente entre cités

Aujourd'hui encore, c'est à travers la seule étude de stèles finement sculptées, de bas-reliefs à décors foisonnants, de céramiques naturalistes et de vestiges funéraires que l'on tente toujours de percer les secrets du mode de vie, de l'organisation sociale et de la vision du monde portée par cette société complexe.

I. GUEVARA / MUSEO NACIONAL DE ANTROPOLOGIA MEXIQUE - SCALA

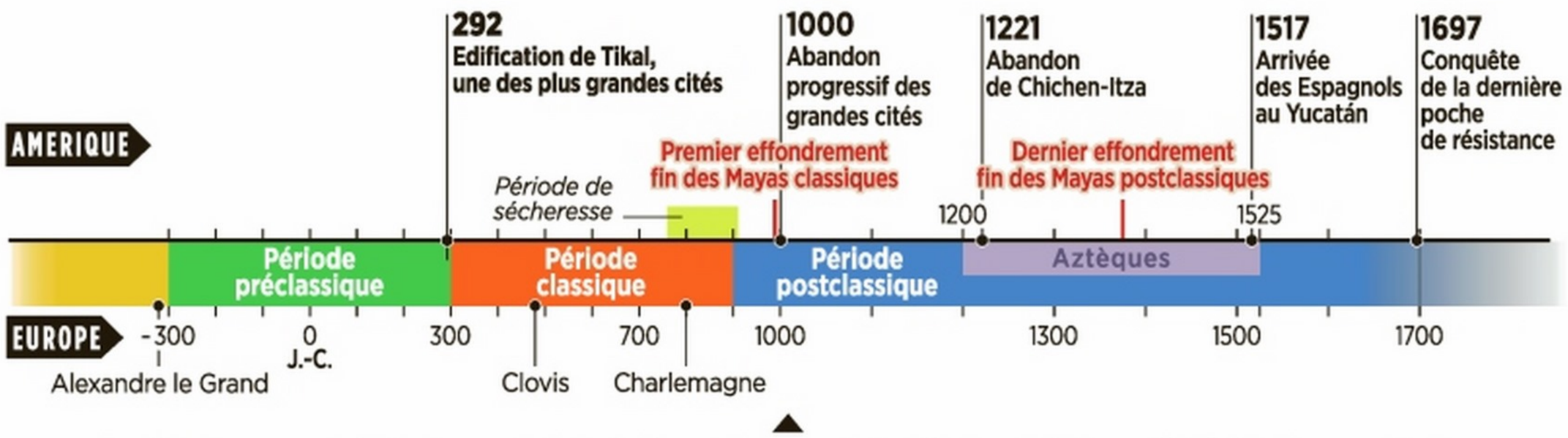
Le temple de Tikal, au nord du Guatemala. D'une hauteur de 47 m, il domine l'ancienne cité maya et abrite la tombe d'un souverain, enseveli en 734.

Les Mayas ont en effet dominé le monde mésoaméricain* du début du 1er millénaire avant notre ère jusqu'au XVIe siècle, période à partir de laquelle les conquistadors européens se sont employés à les détruire. Leur culture se manifeste au travers d'un patrimoine architectural monumental, enrichi chaque année de nouvelles découvertes archéologiques tant les forêts recèlent encore de ruines. Dans une zone qui couvre aujourd'hui l'est du Mexique, le Guatemala, le Belize et l'ouest du Honduras et du Salvador, d'imposants centres urbains ont vu le jour les premiers entre 600 et 300 avant J.-C. : El Mirador, Tikal, Nakbé, au Petén (Guatemala), ou la prodigieuse Calakmul au Campeche (Mexique).

BETTY LAFON

De majestueux ensembles cérémoniels au sein desquels ont fleuri en même temps que de colossales pyramides à degrés une écriture hiéroglyphique et un système de calcul et de mesure du temps uniques. *« C'est à cette époque qu'une élite a peu à peu émergé, au sein de laquelle quelques familles ont cherché à dominer toutes les autres, prémices des royautés sacrées ultérieures »*, explique Dominique Michelet, directeur de recherche au CNRS et éminent spécialiste de cette civilisation. Mais c'est surtout entre 250 et 900 de notre ère, période dite classique *(voir la chronologie p. 12)*, que s'est mis en place un système de domination politique, largement fondé sur la guerre, à la faveur de conditions économiques et démographiques favorables. La lutte contre les cités voisines est devenue un instrument de pouvoir au service des gouvernants successifs (*« ajaw »*), à la fois souverains et guerriers, que l'on peut admirer sur les sculptures et peintures. *« Par ce biais, les différentes cités se*

ROMULO REJON / GETTY IMAGES



La civilisation maya s'est étendue pendant plus de deux mille ans avant de s'effondrer définitivement à l'arrivée des conquistadors.

sont livrées à de constantes compétitions de prestige », précise l'expert. Cette rivalité au sein de la civilisation maya s'est accompagnée d'une explosion de la production artistique de l'époque classique. Cette rivalité exacerbée a vu les cités multiplier les réalisations de prestige, requérant toujours plus de matières premières, et conduisant à la surexploitation de l'environnement. Des épisodes de sécheresse en 760, 810, 860 et 910 conjugués à l'accroissement de la population ont peu à peu abouti à l'épuisement des ressources agricoles. Celui-ci a alors engendré l'effondrement des pouvoirs politiques et conduit le peuple maya à l'abandon progressif des grandes cités.

« *Les récents progrès de l'épigraphie* [étude des inscriptions] *nous ont permis de mieux comprendre le mode de fonctionnement des élites pour pérenniser leur hégémonie*, poursuit Dominique Michelet. *Afin de maintenir leur pouvoir, les souverains mayas persuadaient l'ensemble de chaque communauté que leur propre ancêtre était celui de tous.* » En invoquant ces aïeux et les forces sacrées tutélaires, ces monarques se reliaient aux entités fondatrices pour justifier leur rang, se plaçant comme uniques médiateurs entre les hommes et les dieux. Ce qui leur conférait un pouvoir exorbitant sur les vivants, et les morts.

Sacrifices et autosacrifices en offrande aux dieux

Le monde funéraire maya est aussi abordé dans l'exposition au travers de reconstitutions d'inhumations. L'une, provenant de Jaina, une nécropole insulaire située à l'ouest du Yucatán, concerne un personnage adulte accompagné d'une femme et d'un enfant. En 2002, leurs dépouilles avaient été retrouvées de part et d'autre d'une table centrale sur laquelle se trouvaient 49 objets. Une deuxième reconstitution devrait présenter une femme de la noblesse, provenant d'une tombe de la cité de Calakmul. Son corps, préparé à partir d'un traitement à base de résine, a été retrouvé enveloppée de bandelettes. Enfin, une troisième concerne une tombe royale datée entre 450 et 520, mise au

RELIQUES ROYALES

Les masques de Pakal

Deux portraits de K'inich Janahb' Pakal (603-683), le plus célèbre des souverains mayas, seront exposés au Quai-Branly. Ces deux masques uniques avaient été déposés sur le sarcophage du souverain dans la chambre funéraire du « temple des Inscriptions », à Palenque (Chiapas). Avec leurs pommettes saillantes et leur coiffure soulignant la forte déformation volontaire du crâne — une coutume chez les membres de l'élite maya —, ces sculptures en stuc, qui ne sont pas des moulages, ont été réalisées à deux moments de la vie de Pakal. L'un à l'adolescence, l'autre à l'âge adulte. C'est la découverte de cette tombe par l'archéologue mexicain Alberto Ruz Lhuillier, en 1952, qui a permis de comprendre que les pyramides mayas servaient de tombeaux. L'imposant sarcophage royal reposait derrière la porte d'une crypte fermée par une pierre triangulaire. Là, se trouvaient les restes du roi et de six victimes sacrifiées avec lui. Un extraordinaire dépôt d'offrandes les accompagnait, constitué d'un masque de jade et de nombreuses parures. La pierre tombale était sculptée des principaux éléments de la mythologie maya, et les murs de la chambre funéraire, modelés en stuc, étaient ornés des « Neuf Seigneurs de la nuit », gardiens des enfers et de l'inframonde maya.

Masque du roi K'inich Janahb' Pakal, sculpté en stuc, retrouvé sous une pyramide du site de Palenque (Chiapas, Mexique).

I. GUEVARA / MUSEO NACIONAL DE ANTROPOLOGIA MEXIQUE

Vieillard jaillissant d'une fleur. Céramique (Jaina, Mexique).

Figurine représentant un joueur de pelote s'apprêtant à frapper une balle. Céramique de l'époque classique tardive (600-900).

jour en 1998 sous le temple d'une pyramide du site de Balamku. Le défunt, allongé sur un lit de bois, était accompagné de 14 récipients, de quelques perles de jade, de nacre et de pyrite. Des offrandes parmi lesquelles figuraient certains des objets les plus fondamentaux de l'univers maya : des aiguillons de raie et des lames d'obsidienne destinés aux autosacrifices, ces rituels sacrés qui consistaient à s'infliger des saignées.

De nombreuses représentations montrent comment toutes les parties du corps pouvaient être transpercées par ces aiguillons souvent gravés du nom de leur propriétaire : doigts, lobes d'oreille, langue ou pénis, d'où s'écoulait le sang le plus sacré. « *Chez les Mayas, les sacrifices et autosacrifices répondaient à une nécessité absolue* », poursuit Dominique Michelet. En effet, outre les fumées odoriférantes de copal (résine proche de l'ambre) s'élevant de grands encensoirs, le don du sang constituait l'offrande aux dieux la plus précieuse. Celui des ennemis captifs — que la statuaire représente ligotés et à genoux— était ainsi répandu par les prêtres et les dignitaires, comme le décrit le spécialiste Claude-François Baudez, récemment disparu, dans *La Douleur rédemptrice*. « *Après des décennies de recherches, nous sommes parvenus à un degré de connaissance des sociétés mayas anciennes à la fois détaillé et... flou* », avoue Dominique Michelet. Ce que confirme Nikolai Grube, archéologue allemand de l'université de Bonn : « *Aucun domaine de l'archéologie n'a vu ses connaissances et ses idées changer aussi radicalement.* » La nouvelle exposition parisienne devrait, du moins, donner la vision la plus complète possible à ce jour des Mayas dont les descendants vivent toujours dans la région. Huit millions de locuteurs parlent en effet toujours des langues mayas au Mexique, Guatemala, Belize et Honduras. ■

* Aire culturelle précolombienne s'étendant du nord du Mexique au Honduras et au Salvador.

Aiguillon de raie avec texte incisé (Xilacango, Campeche, Mexique).

Femme aristocrate, tenant un disque symbolisant le centre de l'Univers. Céramique de provenance inconnue.

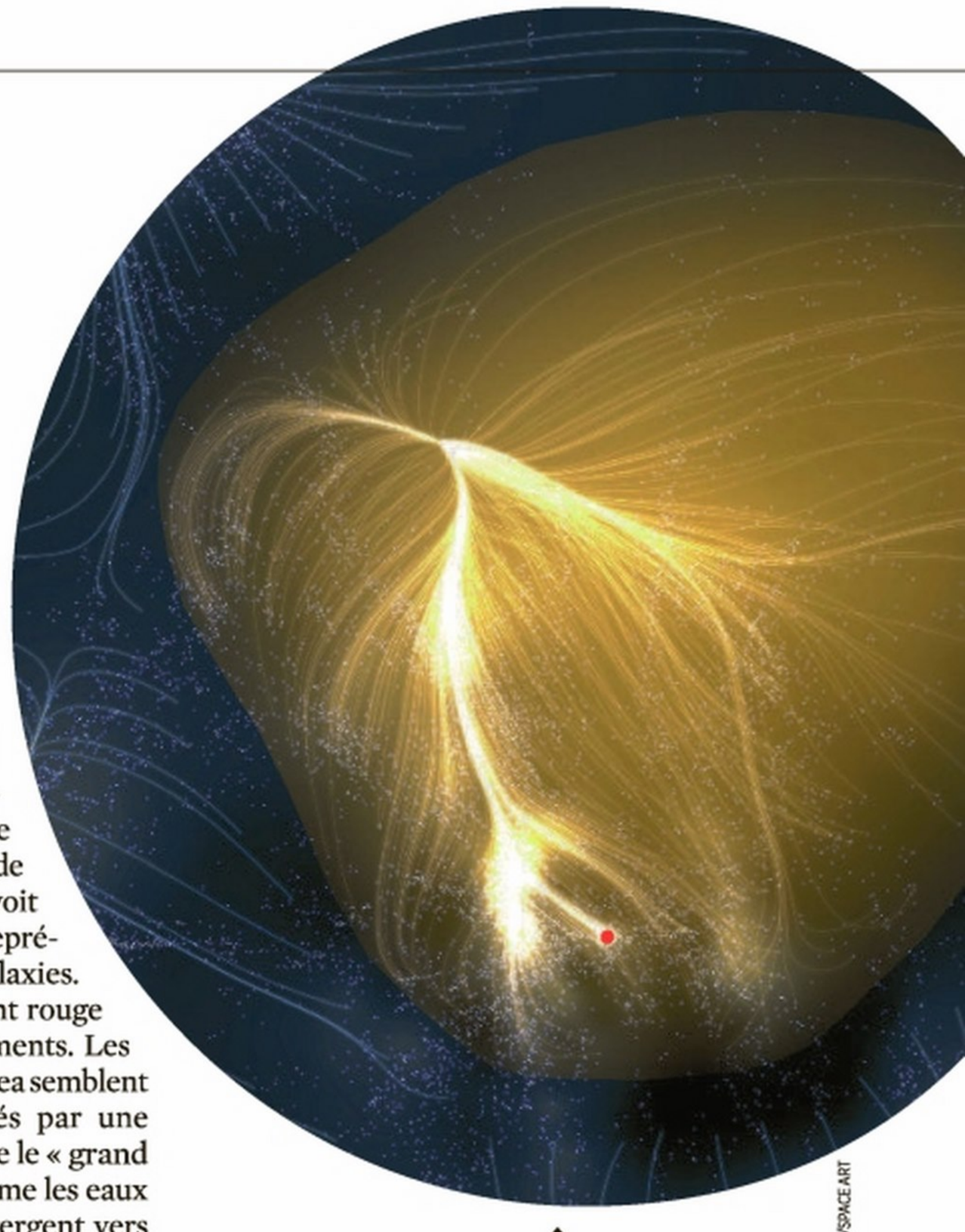
PHOTOS : I. GUEVARA / MUSEO NACIONAL DE ANTROPOLOGIA MEXIQUE - INAH CAMPECHE, MEXIQUE

Laniakea, notre adresse dans l'Univers

La première carte dynamique des dizaines de milliers de galaxies qui nous entourent a été réalisée.

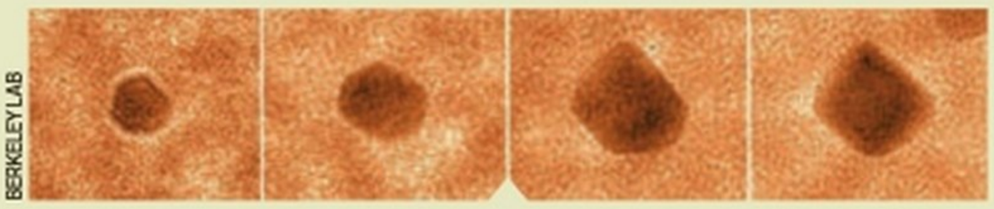
ASTROPHYSIQUE Nous sommes tous des habitants de Laniakea — « horizon céleste immense » en hawaiien. C'est ainsi que vient d'être baptisé le superamas qui englobe, outre notre galaxie — la Voie lactée —, quelque 100 000 autres de taille similaire et plus d'un million de petites galaxies. En tout, une masse d'environ 100 millions de milliards de fois la masse du Soleil se trouve regroupée dans un diamètre de 500 millions d'années-lumière. Les chiffres semblent immenses mais, à l'échelle de l'Univers, il s'agit juste de notre « quartier », dont les limites se heurtent à celles des autres superamas de galaxies, Persée-Poisson ou encore Coma.

La première cartographie dynamique de Laniakea a été réalisée à partir d'un catalogue de vitesse de 8 000 galaxies par une équipe internationale à laquelle participent Hélène Courtois de l'Institut de physique nucléaire de Lyon et Daniel Pomarède du CEA de Saclay. On y voit des filaments blancs qui représentent les trajets des galaxies. La Voie lactée est le point rouge au bout d'un de ces filaments. Les galaxies au sein de Laniakea semblent irrémédiablement attirés par une région inexplorée appelée le « grand attracteur », un peu comme les eaux d'un bassin versant convergent vers une ravine. L'étape d'après : reconstituer les mouvements des superamas voisins **A. Kh.**



MARK A. GARLICK/SPACE ART

Au sein de Laniakea, notre superamas, les filaments matérialisent les trajets des galaxies (en rouge la Voie lactée).



BERKELEY LAB

Le cristal en formation vu au microscope électronique à transmission.

Première observation d'un nanocube en formation

CRISTALLOGRAPHIE Des chercheurs sont parvenus à suivre la formation, atome par atome, d'un cristal nanométrique de platine (100 fois plus petit que la taille d'un cheveu) dans un milieu liquide. **A. B.**

SOURCE : HONG-GANG LIAO, LABORATOIRE NATIONAL LAWRENCE BERKELEY, BERKELEY (ÉTATS-UNIS)

Des nuages d'eau hors du système solaire

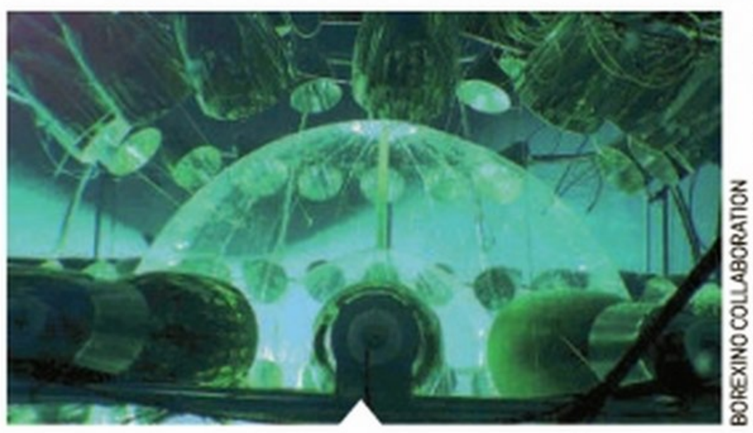
ASTRONOMIE Surprise ! Il y aurait de nuages d'eau glacée dans l'atmosphère d'une naine brune dénommée WISE J0855-0714 et située à 7,3 années-lumière de la Terre. Jusqu'ici on ne connaissait de tels nuages que sur notre planète et sur Mars. **A. B.**

SOURCE : J. FAHERTY, CARNEGIE INSTITUTION FOR SCIENCE, WASHINGTON D. C. (ÉTATS-UNIS).

Le Soleil est stable depuis 100 000 ans

FUSION THERMONUCLÉAIRE En mesurant le principal flux de neutrinos généré au cœur du Soleil, des physiciens ont montré que la production d'énergie de notre étoile n'a pratiquement pas changé depuis au moins 100 000 ans (malgré l'existence de cycles solaires, un phénomène très différent à l'origine mal comprise). D'une masse infime et de faible énergie, ces particules sont produites lors des réactions de fusion entre des noyaux d'hydrogène. Pour les détecter, les scientifiques ont utilisé 300 tonnes d'un liquide scintillant, enfoui sous 1400 mètres de roches au centre de l'Italie. **F. D.**

SOURCE : EXPÉRIENCE BOREXINO, LABORATOIRE NATIONAL DU GRAN SASSO (ITALIE).



BOREXINO COLLABORATION

L'expérience « neutrinos » au Gran Sasso (Italie).

2,5 millièmes de degré

Le record de froid pour une molécule

CHIMIE Une molécule de monofluorure de strontium a été refroidie à à peine 2,5 millièmes de degré au-dessus du zéro absolu (-273,150 °C) à l'aide d'un laser. **A. Kh.**

SOURCE : JOHN BARRY, UNIVERSITÉ YALE (ÉTATS-UNIS).

Cinq sites d'atterrissage pour Philae

ASTRONOMIE Fin août, cinq sites ont été sélectionnés pour l'atterrissage du module Philae (couplé à la sonde Rosetta), qui se posera normalement le 11 novembre à la surface de la comète 67P/Tchourioumov-Guérassimenko *(lire* S. et A. *n° 810)*. Un choix plus complexe que prévu à cause de la forme bilobée du noyau cométaire, découverte avec surprise mi-juillet par les scientifiques. **A. B.**

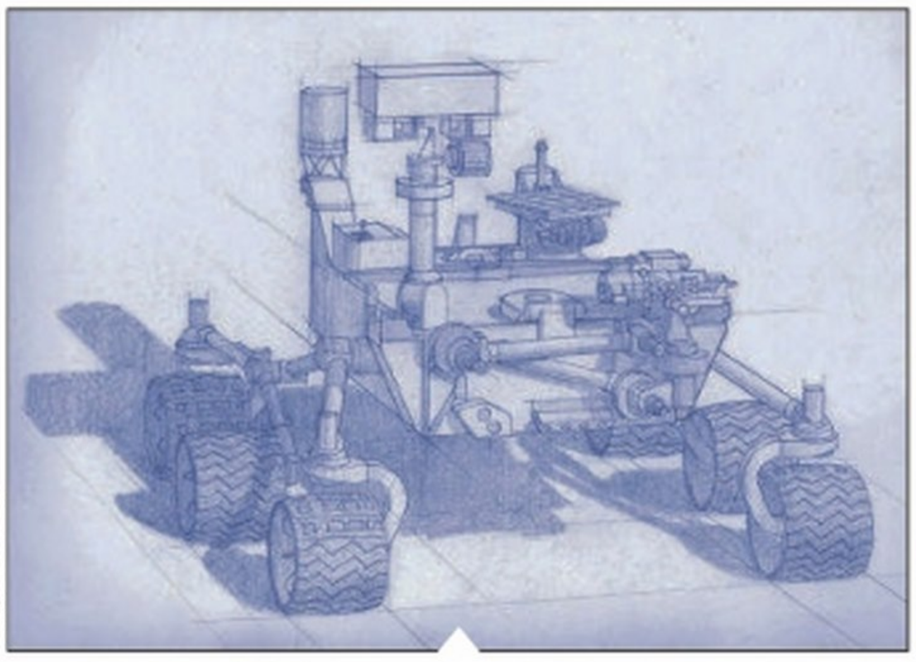
Les anneaux de Saturne se salissent très peu

ASTROPHYSIQUE Les anneaux saturniens pourraient s'être formés en même temps que leur planète, il y a

4,4 milliards d'années, et non pas beaucoup plus tardivement, comme le soutenaient certains scientifiques. Leur argument : si les anneaux étaient si anciens, ils auraient dû être noircis par la poussière cosmique. Pour la première fois, la sonde spatiale Cassini a pu mesurer la vitesse à laquelle ils s'encrassent, et celle-ci est 40 fois plus faible que ce que l'on pensait. Pendant sept ans, la sonde n'a récolté que 140 particules capables de « salir » les anneaux. Conclusion : même s'ils existaient depuis plusieurs milliards d'années, les anneaux ne seraient pas noircis. **A. B.**

SOURCE : S. KEMPF, UNIVERSITÉ DU COLORADO (ÉTATS-UNIS).

NASA/JPL-CALTECH/SPACE SCIENCE INSTITUTE



NASA/JPL CALTECH

Le rover Mars 2020, successeur de Curiosity (vue d'artiste).

Les missions de Curiosity 2

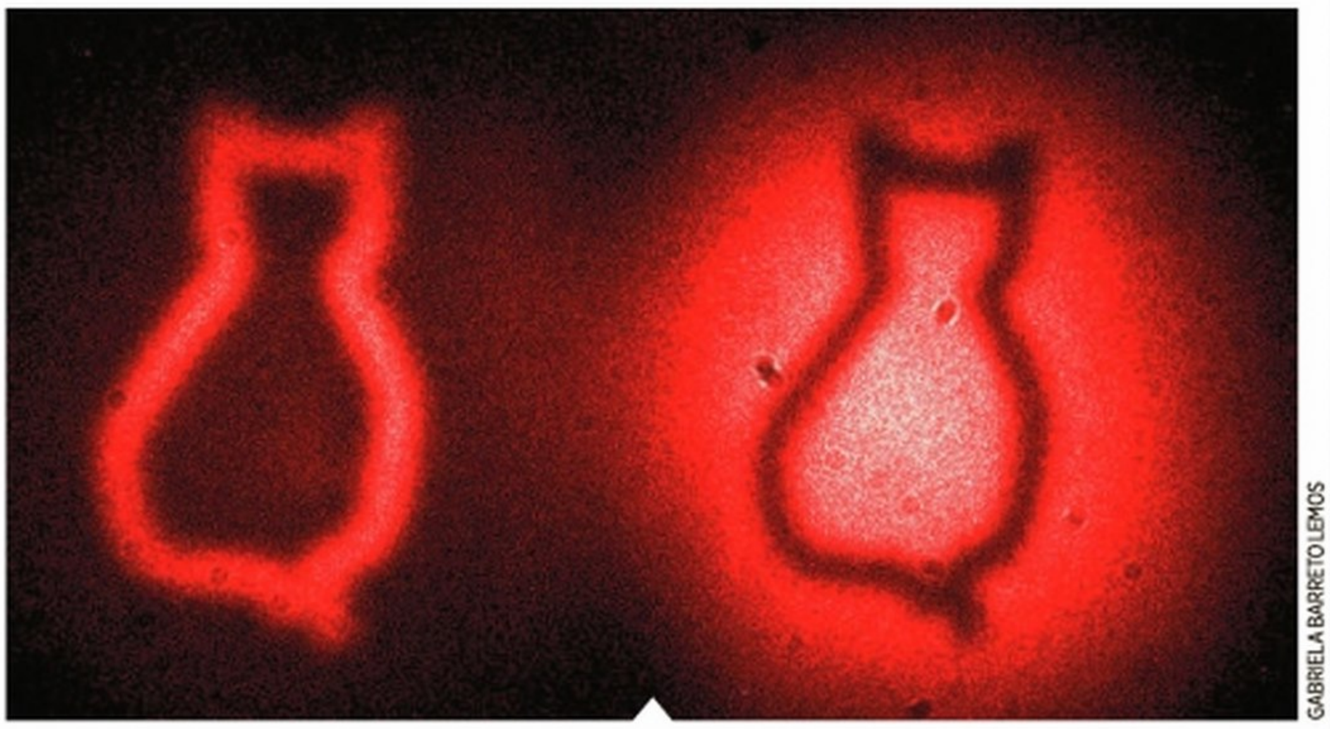
ESPACE La Nasa a levé le voile sur les missions de Mars 2020, le successeur du rover Curiosity, qui devrait décoller en 2020 :

- **Détection de « biosignatures ». Plusieurs instruments (dont Supercam, le successeur de ChemCam, toujours français) chercheront des molécules éventuellement d'origine biologique.**
- **Collecte et stockage d'échantillons. L'objectif sera de stocker des échantillons du sol pour les rapporter sur Terre lors d'une mission ultérieure.**
- **Production d'oxygène. L'expérience Moxie consistera à en produire à partir du CO_2 contenu dans l'air martien. J-F. H.**

Le chat de Schrödinger a été pris en photo

Une expérience originale témoigne de l'état de superposition quantique.

PHYSIQUE QUANTIQUE Voici la première véritable image d'une superposition quantique, devenue célèbre au travers du fameux chat de Schrödinger. Celui-ci illustre qu'à l'échelle quantique et avant toute mesure, un objet est dans deux états à la fois, ce qui correspond à mort et vivant pour le chat. Dans cette physique subatomique, un atome est à la fois dans un état excité et fondamental. Mais le photographier ou le mesurer met aussitôt fin à cet état de superposition. L'équipe d'Anton Zeilinger à l'université de Vienne (Autriche) a imaginé une astuce : utiliser deux photons qui ont par le passé interagi et qui se comportent comme un seul objet. Du fait de cette intrication, la moindre information que porte l'un est disponible sur l'autre. L'équipe a fait passer un de ces photons à travers une découpe en forme de chat pour réaliser une photo, mais a recueilli l'autre qui portait aussi l'image sans avoir pour autant interagi avec l'objet. Résultat : la superposition quantique a été saisie sur le vif. **A. Kh.**



GABRIELA BARRETO LEMOS

L'état de superposition prévu par la physique quantique est obtenu par deux photons ayant interagi dans le passé (ici vus à travers une découpe en forme de chat).

Le séisme du Chili a secoué l'Antarctique

SISMOLOGIE Le grand séisme du Chili survenu en 2010, d'une magnitude de 8,8, a fait trembler l'Antarctique. Les enregistrements sismiques, qui viennent d'être examinés, montrent de faibles secousses pendant six heures après le séisme. Cet effet, enregistré pour la première fois, est dû à la propagation des ondes de surface. Reste à étudier l'impact exact sur la glace. **A. Kh.**

SOURCE : Z. PENG, GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY, ATLANTA (ÉTATS-UNIS).

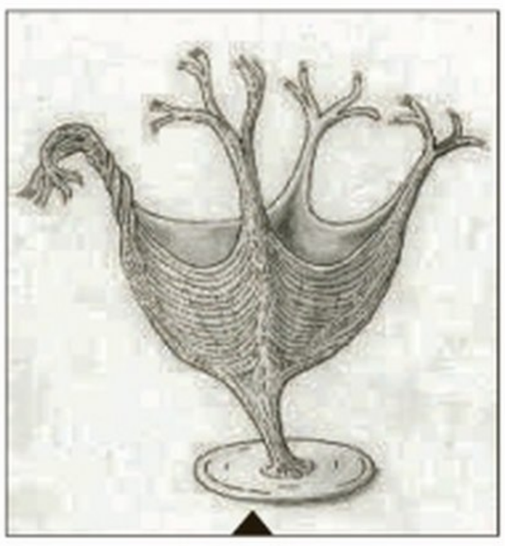
La trace d'une des premières étoiles

ASTRONOMIE **Pour la première fois, la signature chimique d'une des premières étoiles a été détectée. Composées d'éléments légers constitutifs de l'Univers primitif tels l'hydrogène et l'hélium, ces étoiles super-massives auraient donné naissance lors de leur explosion à des éléments lourds, qui ont été détectés par un télescope. A.B.**

SOURCE : WAKO AOKI, OBSERVATOIRE ASTRONOMIQUE NATIONAL DU JAPON, TOKYO

Le plus vieux muscle

PALÉONTOLOGIE C'est la plus ancienne musculature fossile connue : datée de -560 millions d'années, elle appartient à un animal marin apparenté aux cnidaires (anémones, méduses et coraux) découvert en 2008 à Terre-Neuve. Baptisée *Haootia quadriformis* (soit « démon quadriforme »), l'espèce est décrite comme un organisme à corps mou de 56 par 37 mm et présentant une structure à quatre faces, constituée de tiges reliées entre elles par un réseau de



UNIVERSITY OF CAMBRIDGE

Reconstitution d'« Haootia quadriformis ».

fibres, vraisemblablement des muscles. L'apparition des animaux à musculature avant le cambrien (-541 millions d'années) n'était jusque-là documentée qu'indirectement, par des traces fossiles d'activité biologique. **L. B.**

ABECASSIS/LEEMAGE

L'agent pathogène de la tuberculose se serait transmis des pinnipèdes à leurs chasseurs il y a plus de 1000 ans.

Des phoques ont importé la tuberculose en Amérique

L'analyse au Pérou de squelettes de mammifères marins vieux d'un millier d'années disculpe les Européens dans la transmission de cette maladie.

PALÉOPATHOLOGIE Non, les colons européens ne sont pas responsables de la première apparition de la tuberculose sur le continent américain, comme on l'a longtemps cru. Les coupables sont des phoques et des otaries. C'est ce que révèle l'analyse génomique de trois souches de *Mycobacterium tuberculosis*, isolées sur trois squelettes de ces animaux trouvés au sud du Pérou, vieux d'environ 700 à 1000 ans et présentant des lésions osseuses indicatives de ce pathogène. Des dizaines d'archives archéologiques similaires semblaient déjà disculper l'homme, mais sans fournir le scénario cohérent d'apparition que ces nouvelles données génétiques apportent. Ces souches anciennes s'apparentent à celles affectant les pinnipèdes aujourd'hui et sont issues d'un ancêtre commun vieux d'environ 4000 ans. Des phoques ont vraisemblablement contracté la maladie en Afrique, berceau de la tuberculose, puis, il y a 2500 ans, l'ont transportée à travers les océans. Pour finalement la transmettre au cours du premier millénaire aux peuples côtiers du Chili et du Pérou, qui chassaient et consommaient ces animaux. Les Européens ont néanmoins introduit une autre souche bactérienne, celle qui sévit à l'heure actuelle. **L. B.**

L'escargot au menu il y a 30000 ans

PALÉOÉCOLOGIE Les habitants de la péninsule Ibérique se régalaient déjà d'escargots terrestres il y a 30 000 ans, révèlent des fouilles menées dans des abris-sous-roche au sud-est de l'Espagne. Soit 10 000 ans plus tôt que dans d'autres régions du bassin méditerranéen. Près de 1500 coquilles d'un gros colimaçon, *Iberus alonensis*, utilisé encore aujourd'hui dans la paella, ont été trouvées sur trois sites. Des traces de cuisson à proximité laissent supposer que cet aliment riche en nutriments et vitamines était grillé avant d'être dégusté. F. B.

SOURCE : J. FERNÁNDEZ-LÓPEZ DE PABLO, INSTITUT DE PALÉOÉCOLOGIE HUMAINE ET D'ÉVOLUTION SOCIALE, TARRAGONE (ESPAGNE).

FERNÁNDEZ-LÓPEZ DE PABLO ET AL.

Les coquilles d'escargot retrouvées au sud-est de l'Espagne.

Trois sources pour le génome européen

GÉNÉTIQUE On connaissait deux réservoirs de gènes à l'origine du patrimoine de l'Européen moderne — des chasseurs-cueilleurs arrivés en Europe vers -45000 ans, et des agriculteurs venus du Proche-Orient il y a environ 9000 ans. Une vaste étude pointe une troisième lignée, venue d'Asie du Nord-Ouest il y a 5000 ans. **B. A.**

SOURCE : J. KRAUSE, UNIVERSITÉ DE TÜBINGEN (ALLEMAGNE).

EN BREF

RENAISSANCE DU SPHINX. La restauration du sphinx de Gizeh, à l'ouest du Caire (Égypte) a débuté. **TRÉSORS BLOQUÉS.** Jusqu'à nouvel ordre, les trésors d'orfèvrerie des Scythes de Crimée, exposés au musée Allard Pierson d'Amsterdam, ne seront restitués ni à la Crimée, ni aux autorités de Kiev. **SQUELETTES LORRAINS.** À Marsal (Moselle), des squelettes humains datés de 500 avant J.-C. ont été retrouvés jetés comme des carcasses à proximité d'un site celte d'extraction de sel.

IL N'Y A PAS QUE LE MALADE QUI SOUFFRE D'ALZHEIMER.

Aujourd'hui, près de 900 000 malades et leur famille souffrent de la maladie d'Alzheimer en France. Soutenez la recherche.

OUI, je soutiens la Fondation de l'Avenir pour accélérer la recherche contre la maladie d'Alzheimer. Je fais aujourd'hui un don de :

☐ 15 € ☐ 30 € ☐ 50 € ☐ 100 €

Autre montant _____

☐ M. ☐ Mme ☐ Mlle APA51409SV

Nom & Prénom : .....

Adresse : .....

.....

Code Postal : ..... Ville : .....

Pour faire un don : **www.stop-alzheimer.org** ou renvoyez ce coupon avec votre chèque bancaire ou postal à l'ordre de la « Fondation de l'Avenir », sans timbrer votre enveloppe à : FONDATION DE L'AVENIR - Libre réponse 63241 77009 MELUN CEDEX

DÉDUCTION D'IMPÔT : vous recevrez dans les deux mois un reçu fiscal qui vous permettra de déduire de votre impôt 66 % de votre don, dans la limite de 20 % de votre revenu imposable. Ainsi, un don de 25 € ne vous coûte en réalité que 8,50 €.

Conformément à la loi n°78-17 du 6 janvier 1978, vous pouvez accéder aux informations vous concernant, demander leur rectification, leur suppression, ou vous opposer à leur échange ou cession par la Fondation.

FONDATION DE L'AVENIR

Harmonie mutuelle

Les Inuits ont peuplé l'Arctique au moment où disparaissaient les Paléo-esquimaux.

T. KOENE/VISUAL AND WRITTEN/BIOSPHOTO

La généalogie des Inuits se précise

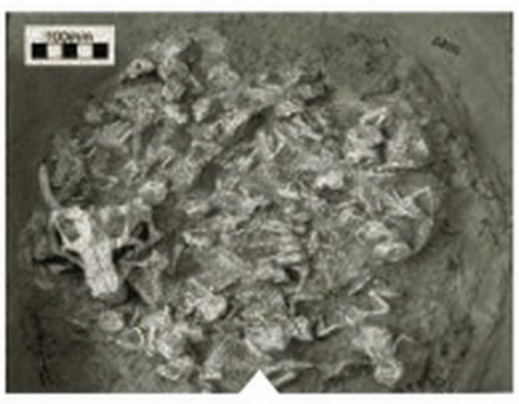
La population inuite actuelle n'aurait aucun lien de parenté avec les Paléo-esquimaux disparus vers 700 de notre ère.

PALÉOGÉNÉTIQUE Dans leurs mythes, les Inuits racontent qu'avant leur arrivée en Arctique, vivait là un peuple qu'ils appellent « Tunits » ou « *Sivullimiut* », signifiant les « premiers habitants ». Des mythes non dénués de vérité comme vient de le prouver le séquençage de l'ADN (nucléaire et mitochondrial) de 169 échantillons humains (os, dents, et cheveux) provenant d'habitants actuels et anciens du Groenland, Canada, Alaska, îles Aléoutiennes et Sibérie.

Selon cette analyse, les Inuits n'auraient aucun lien avec les Paléo-esquimaux, premiers habitants de l'Arctique, qui avaient vécu pendant 4000 ans sans contact avec d'autres populations. Ils ont disparu vers 700 de notre ère, et vers la même époque sont arrivés les véritables ancêtres des Inuits, de la culture de Thulé. Ces Paléo-esquimaux seraient également distincts des groupes Amérindiens. Pour Eske Willerslev, directeur du Centre de géogénétique de l'université de Copenhague (Danemark), à l'origine des recherches, trois grandes vagues de peuplement successives ont atteint l'Amérique et l'Arctique : d'abord les ancêtres des Amérindiens actuels, puis les Paléo-esquimaux, demeurés sans descendance, et plus tard, les ascendants des Inuits actuels. **B. A.**

Baby-sitting chez les dinosaures

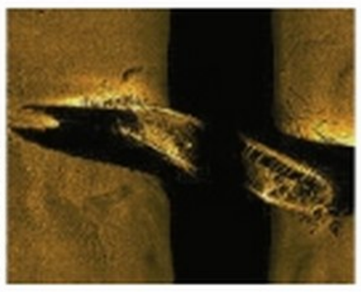
PALÉONTOLOGIE Des chercheurs de Pennsylvanie (États-Unis) ont découvert, en Chine, un nid de 24 petits psittacosaures, fraîchement éclos, *« certains blottis avec ce qui pourrait être leur "baby-sitter", un jeune de 5 ans »*. Hypothèse audacieuse pour ces herbivores vieux de 120 millions d'années, surpris par une coulée de boue volcanique. Chez les oiseaux actuels, et derniers « dinosaures vivants », seuls 3 à 8 % des espèces aident parfois leurs parents ou d'autres oiseaux à élever leur couvée. **R. M.**



UNIVERSITY OF PENNSYLVANIA

Le nid fossile de dinosaures.

Un navire de sir Franklin retrouvé



PARKS CANADA

ARCHÉOLOGIE Le 7 septembre, grâce aux explorations d'un sous-marin, le Canada a annoncé une nouvelle attendue depuis… 1846. Le *HMS Erebus* ou le *HMS Terror*, l'un des navires de l'expédition de Sir John Franklin disparu dans le Grand Nord canadien a été localisé dans le Nunavut. **M. N.**

Le crâne du chef kanak Ataï restitué

ANTHROPOLOGIE Il avait été décapité en 1878, sa tête expédiée au Musée ethnographique du Trocadéro (actuel musée de l'Homme) : le crâne du chef kanak Ataï a été restitué aux siens le mois dernier. Nos musées se défont peu à peu de leurs collections coloniales, après la restitution à l'Afrique du Sud de la dépouille de Saartjie Baartman (2002) et d'une vingtaine de corps maoris à la Nouvelle-Zélande (2010). Mais une trentaine de restes de chefs rebelles algériens demeurent en France. **R. M.**

JC DOMENECH/MNHN

Ataï avait été décapité par les Français (moulage). ▶

15

Le nombre de monuments cachés sous Stonehenge

MÉGALITHES Le mystère s'épaissit à Stonehenge. En effet, 15 structures (cromlechs, tumulus, puits, etc.) ont été détectées dans le sous-sol des environs du célèbre site mégalithique anglais. Ces découvertes, réalisées à l'aide d'un radar à pénétration de sol et d'un laser 3D, ont été réalisées dans le cadre d'une étude menée pendant quatre ans par l'université de Birmingham (Royaume-Uni) et l'Institut Ludwig Boltzmann (Autriche), spécialisée dans les prospections archéologiques « non invasives ». **B. A.**

PARCE QU'ELLES S'ENGAGENT PAR LEURS ACTIONS, ELLES FONT CHAQUE JOUR AVANCER LA SOCIÉTÉ

C'EST POURQUOI, DEPUIS 45 ANS, LA FONDATION DE FRANCE AIDE LES ASSOCIATIONS

Découvrez les projets que nous soutenons
sur fondationdefrance.org
et notre chaîne YouTube

Fondation de France

Pour l'engagement associatif

LIMITE

QUESTIONS À

Qing Liang Chercheuse en chimie atmosphérique au Goddard Space Flight Center (Nasa)

Un destructeur d'ozone persiste

Des décennies après avoir été interdit, le tétrachlorure de carbone (CCl_4), l'un des responsables du trou dans la couche d'ozone, a été trouvé en grande quantité dans l'atmosphère par des chercheurs de la Nasa.

Qu'avez-vous constaté ?
Les mesures et nos modélisations ont permis d'estimer l'évolution de la concentration dans l'atmosphère du CCl_4 entre 2000 et 2012. En théorie, cet agent n'est plus produit ni utilisé depuis 2007 [à quelques dérogations près], selon les accords du protocole de Montréal [1987]. On devrait constater une diminution de 4 % par an de la teneur atmosphérique. Or, elle n'est que de 1 %.

COURTESY Q. LIANG

« Il semble que le CCl_4 reste dans l'atmosphère 40 % plus longtemps qu'on ne le pensait »

Cela signifie-t-il qu'il subsiste des émissions de ce gaz contrairement à ce qu'affirment les Nations unies ?
Les données de l'ONU sont des estimations sur l'utilisation très encadrée des rares produits contenant encore du CCl_4 et sur les destructions de stocks. Mais il pourrait y avoir des processus chimiques inconnus. Peut-être dans la fabrication industrielle de l'hypochlorite de sodium, toujours commercialisé. Ou des émissions depuis des sols contaminés ou de vieilles décharges. Il semble aussi que le CCl_4 reste dans l'atmosphère 40 % plus longtemps qu'on ne le pensait.

Que doit faire la communauté internationale ?
Il est important de stopper ces émissions, comme les États s'y sont engagés en 1987. Mais c'est difficile si nous ne connaissons pas leur source. Selon qu'il s'agit de procédés industriels actuels ou de vieux sites pollués, le cadre réglementaire et les délais pour agir seront différents. **Propos recueillis par L. C.**

SAM VAN AKEN

L'arbre aux quarante fruits

BOTANIQUE Artiste mais aussi jardinier, l'Américain Sam Van Aken a réussi à greffer 40 espèces de fruits pour composer cet arbre vivant et coloré. S'y côtoient notamment pêches, prunes, abricots, nectarines, cerises et amandes (ici une représentation du projet). **www.treeof40fruit.com**

23,5 %

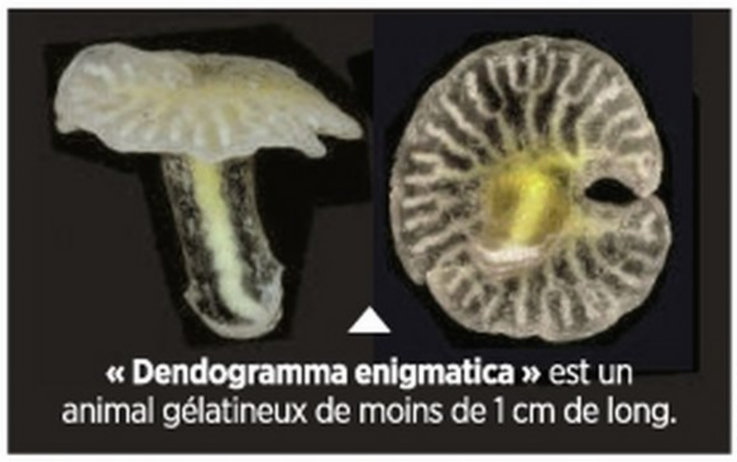
La part des forêts vierges de toute influence humaine

ÉCOLOGIE Il ne reste plus que 13,1 millions de kilomètres carrés de forêt intacte sur un total de 55,9 millions à la surface de la Terre. Et seuls 1,27 million de kilomètres carrés (2,3 % du total) font l'objet d'une véritable protection. **E. L.**

SOURCE : PETER POTAPOV, SOUTH DAKOTA STATE UNIVERSITY, BROOKINGS (ÉTATS-UNIS).

Des fuites de méthane au large des États-Unis

OCÉANOLOGIE Des centaines de colonnes de bulles de méthane s'échappent dans l'Atlantique depuis le talus continental américain (de 100 à 350 km des côtes), entre 50 et 1700 m de profondeur. Le gaz, dégradé avant d'arriver en surface, est produit par des bactéries. **P. K.**


« Dendogramma enigmatica » est un animal gélatineux de moins de 1 cm de long.

JUST ET AL.

Les oiseaux victimes des panneaux solaires

ENVIRONNEMENT 30 000 volatiles seraient grillés chaque année en traversant le champ de panneaux des centrales solaires à concentration installées dans le désert de Mojave (Californie, États-Unis), selon les défenseurs américains des oiseaux de la Audubon Society. **L. C.**

Deux espèces inclassables

TAXONOMIE ***Dendrogramma enigmatica*** **et** ***Dendrogramma discoides*** **sont deux espèces d'un nouveau genre que les chercheurs ne parviennent pas à classer dans l'arbre du vivant. Ces animaux gélatineux en forme de champignon de moins de 1 cm de long ont été prélevés en 1986 entre 400 m et 1000 m de profondeur dans les eaux australiennes. Malgré leur aspect, ils diffèrent des méduses et seraient plus proches de la faune d'Ediacara, vieille de 600 millions d'années qui a totalement disparu. L. C.**

NUIT

DÉCOUVREZ LA FACE CACHÉE DE LA NATURE ...

EXPOSITION

Jardin des Plantes
Jusqu'au 3 novembre 2014

Grande Galerie de l'Évolution
36 rue Geoffroy Saint-Hilaire, Paris 5e

NUIT.MNHN.FR

MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE

© MNHN - Rachel Bracco

5 TROIS PARIS REGION COMITÉ RÉGIONAL DU TOURISME SCIENCE & VIE JUNIOR ANOUS PARIS 20 minutes.fr LE FIGARO Europe 1

Les chevaux communiquent avec les oreilles

Pour échanger des informations, les chevaux scrutent le regard mais aussi l'orientation des oreilles.

ÉTHOLOGIE Ce n'était qu'une intuition dans le monde de l'équitation, la preuve a été apportée par deux chercheuses de l'université du Sussex à Brighton (Royaume-Uni) : les chevaux communiquent avec leurs oreilles. Dans l'expérience qu'elles ont conçue, des chevaux devaient choisir entre deux seaux de nourriture disposés de part et d'autre d'une photo de tête de cheval grandeur nature vue de profil. Dans 75 % des cas, les chevaux ont choisi le seau vers lequel pointaient les oreilles du portrait. Tandis que lorsque, sur la photo, les oreilles du cheval étaient masquées, les chevaux ont choisi au hasard (50 % à gauche, 50 % à droite).

Le regard semble aussi jouer un rôle dans cette communication. Car lorsqu'un masque était placé sur l'œil du portrait, les chevaux ne se référaient au sens des oreilles que dans 58 % des cas. Le regard et les oreilles expriment donc l'attention qu'un cheval porte à un objet. Ils sont perçus par ses congénères, qui s'intéressent à leur tour à l'objet. **M. K.**

J. NATHAN, K. MCCOMB

◀ La communication entre chevaux n'est complète que si yeux et oreilles sont visibles.

Non, la pie n'est pas voleuse

ORNITHOLOGIE Il fallait en avoir le cœur net : une équipe de l'université d'Exeter (Royaume-Uni) s'est attachée à vérifier si les pies (*Pica pica*) étaient bien attirées par les objets brillants et prises d'une envie irrésistible de s'en emparer. Les tests menés sur le campus de l'université ont consisté à présenter des objets ternes ou colorés à deux groupes de pies, l'un sauvage, l'autre provenant d'un refuge. Aucun oiseau n'a présenté une tendance à la kleptomanie, les volatiles ayant au contraire montré une méfiance envers ces objets nouveaux pour eux. Conclusion : leur réputation est bel et bien usurpée ! **L. C.**

B. BEVAN / ARDEA / BIOSPHOTO

La pie n'est pas attirée par le clinquant.

En ville, les araignées profitent

ARACHNOLOGIE Les araignées sont plus grosses et plus prolifiques en milieu urbain. C'est ce qu'affirme une équipe de l'université de Sidney (Australie) qui a comparé les populations d'épeires (*Nephila plumipes*, très courantes dans le monde) vivant dans le bush entourant Sidney avec celles fréquentant des aires totalement bétonnées. Et celles des villes *(photo de droite)* ont une corpulence plus forte et des ovaires de plus grande taille que celles des champs *(photo de gauche)*. Les arachnides profiteraient d'un ensoleillement plus intense favorisant leur croissance ainsi que de l'attirance de leurs proies ailées pour l'éclairage urbain. **L. C.**

ELISABETH LOWE

Pas de pins, pas de cacatoès

CONSERVATION Dilemme pour les autorités de l'État d'Australie-Occidentale : près de 3000 cacatoès noirs (10 % des effectifs) vivent dans des plantations de pins proches de Perth. Or, ces pins consomment beaucoup d'eau. L'État, qui subit une sécheresse historique, envisage de les couper. Ce qui permettrait d'épargner la nappe phréatique, mais serait fatal aux oiseaux. **L. C.**

BIOSPHOTO

▲ L'odeur de serpent influe sur le comportement et la physiologie des lézards.

Le lézard a la couleuvre dans le nez

ZOOLOGIE Lorsqu'une femelle lézard vivipare respire l'odeur de la couleuvre, son ennemi mortel, les embryons qu'elle porte voient leur queue... s'allonger ! Un atout pour leur avenir : plus leur queue sera longue, plus ils auront en effet de chances d'échapper à leur prédateur naturel en la sectionnant pour l'abandonner dans la gueule du carnivore. Et ce n'est pas tout ! Les petits des femelles mises en contact avec cette même odeur pendant un mois se dispersent davantage ensuite et évitent dès leur naissance les endroits chauds les plus exposés pour diminuer les risques de croiser des serpents. Cet effet n'est pas reproduit par d'autres signaux donnés par la mère comme le stress. P. K.

SOURCE : ELVIRE BESTION, STATION D'ÉCOLOGIE EXPÉRIMENTALE DU CNRS À MOULIS.

VAINCRE
jour après jour

La mucoviscidose
est une maladie génétique qui ne se guérit pas.
Aujourd'hui, la transplantation pulmonaire est l'ultime recours pour prolonger un peu plus la vie des patients.

FAITES UN DON

vaincrelamuco.org

© Guéret
Crédit photo : Marc Okó

DON en CONFIANCE
comite-charte.org

Viviane Balloy, ingénieur de recherche

VAINCRE LA MUCOVISCIDOSE

RENDEZ-VOUS SUR LES 450 VIRADES DE L'ESPOIR, PARTOUT EN FRANCE, DIMANCHE 28 SEPTEMBRE

Implantation de la première vertèbre imprimée en 3D

Cet implant sur mesure ne nécessite ni vis ni ciment, ce qui évite les risques d'usure à long terme.

CHIRURGIE C'est une première mondiale dans l'histoire de la chirurgie. Une vertèbre sur mesure entièrement imprimée en 3D a récemment été implantée à l'Hôpital universitaire de Pékin sur un garçon de 12 ans prénommé Minghao.

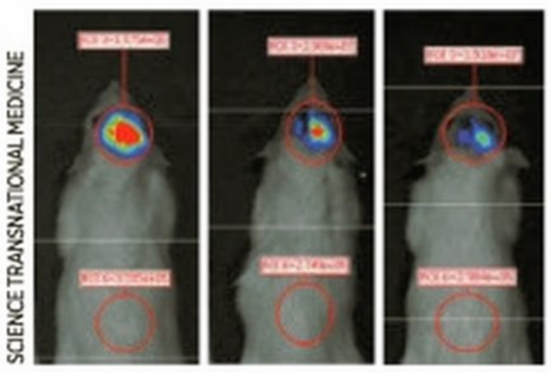
L'enfant présentait une tumeur cancéreuse osseuse, située au niveau de la deuxième vertèbre cervicale. Afin d'éviter qu'elle ne se propage, les médecins ont souhaité enlever la vertèbre touchée et la remplacer par un implant. Or, des chercheurs de l'université de Pékin travaillaient depuis 2009 à l'élaboration d'implants sur mesure imprimés en 3D. D'où le recours à cette technique pour fabriquer au millimètre près un implant. De plus, il ne nécessite ni vis ni ciment pour être maintenu, ce qui évite les risques d'usure à long terme, principal inconvénient des implants orthopédiques. Dernier avantage, le corps s'adapte beaucoup plus rapidement à cet élément de forme parfaite, ce qui raccourcit le temps de récupération. **H. J.**

La prothèse a été imprimée en poudre de titane (en noir).

JASON LEE/REUTERS

EN BREF

BOYCOTT EUROPÉEN. Plus de 750 neuroscientifiques ont signé une lettre présentée à la Commission européenne annonçant leur boycott de l'Human Brain Project, jugé inadapté à la recherche sur le cerveau. **PROTHÈSE CARDIAQUE.** Le groupe français Carmat a implanté, avec succès, un deuxième cœur artificiel. **RÉCOMPENSE.** Le Français Alim-Louis Benabid a reçu le prix Lasker pour ses travaux sur la maladie de Parkinson.



SCIENCE TRANSNATIONAL MEDICINE

Des bactéries détruisent une tumeur

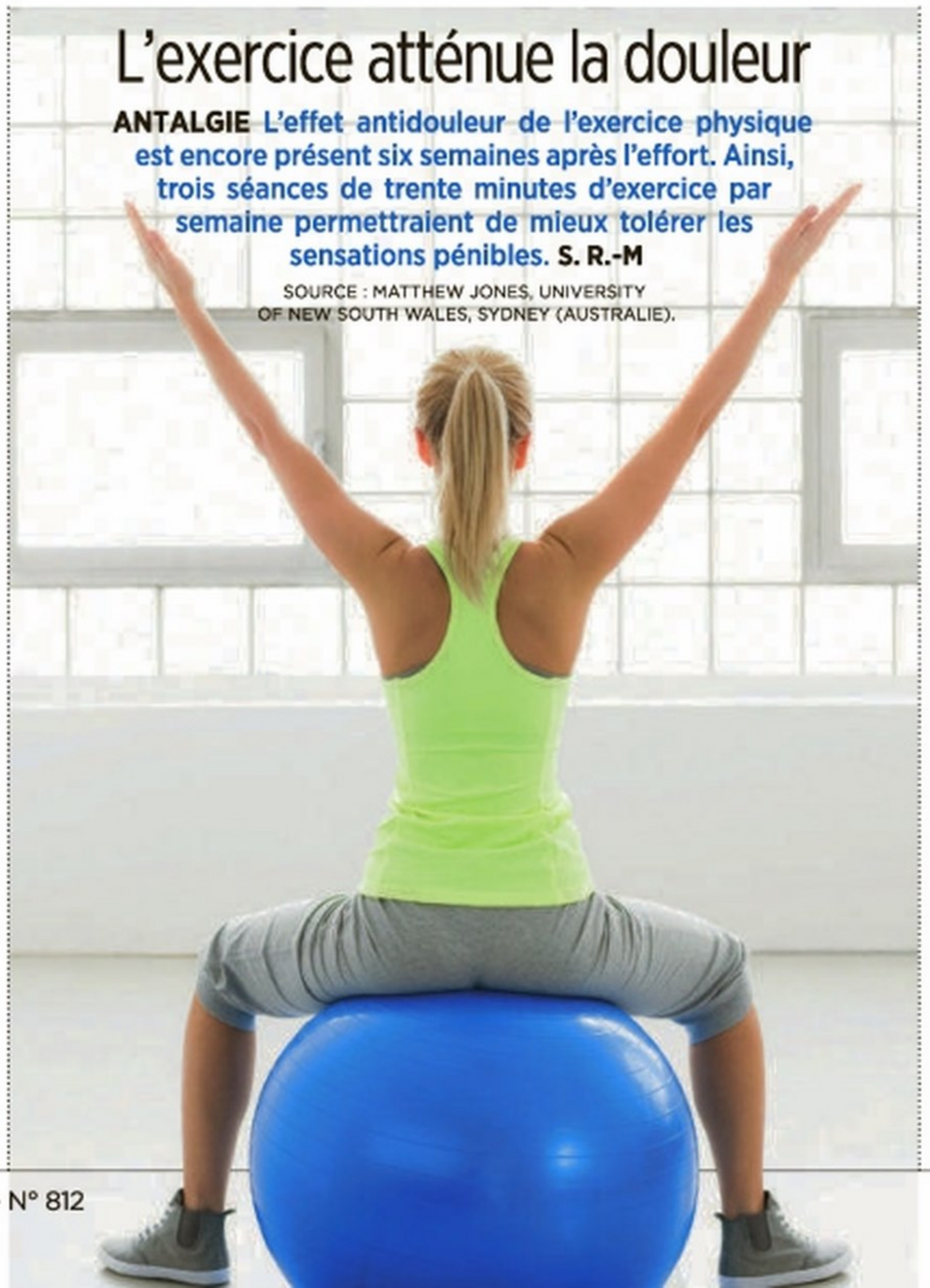
ONCOLOGIE Des bactéries permettraient de lutter contre des tumeurs inopérables. L'expérience de « biochirurgie » a été conduite chez six chiens atteints d'un cancer. Après injection d'une souche de *Clostridium novyi*, la tumeur a disparu chez trois d'entre eux et considérablement fondu chez trois autres. Mieux, une femme souffrant d'un cancer musculaire a reçu 10 000 spores bactériennes. Quelques semaines plus tard, la tumeur avait régressé. Le mécanisme reposerait sur une réponse immunitaire antitumorale. **M. G.**

SOURCE : N. ROBERTS, JOHNS HOPKINS SIDNEY KIMMEL COMPREHENSIVE CANCER CENTER, BALTIMORE (ÉTATS-UNIS).

L'exercice atténue la douleur

ANTALGIE L'effet antidouleur de l'exercice physique est encore présent six semaines après l'effort. Ainsi, trois séances de trente minutes d'exercice par semaine permettraient de mieux tolérer les sensations pénibles. **S. R.-M**

SOURCE : MATTHEW JONES, UNIVERSITY OF NEW SOUTH WALES, SYDNEY (AUSTRALIE).



AFP

Un médicament contre l'insuffisance cardiaque

CARDIOLOGIE Un médicament expérimental, le LCZ696, a réduit de 20 % le risque de mortalité chez les patients atteints d'insuffisance cardiaque par rapport au traitement classique (enalapril). La commercialisation de ce nouveau traitement est prévue en 2015. **S. R.-M.**

Les neurones de la patience

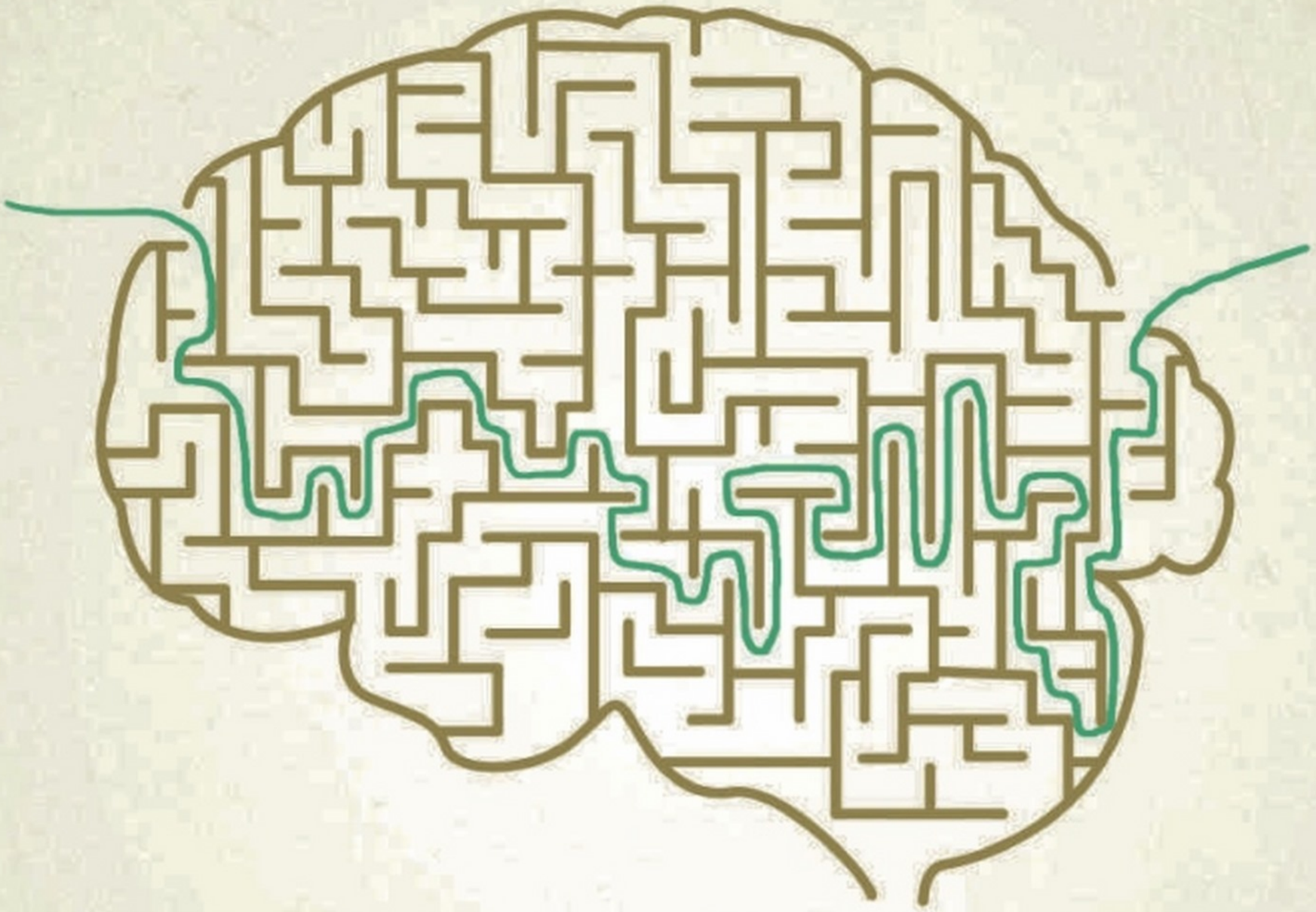
NEUROLOGIE Une souris a été rendue plus patiente en stimulant certains neurones. En activant le noyau du raphé (producteur de sérotonine) de son cerveau par la lumière, la souris est alors capable d'attendre sa récompense plusieurs secondes de plus que ses congénères non stimulées. Impliquée dans les fonctions cognitives, comportementales et affectives, la sérotonine joue donc aussi un rôle dans la patience. **E. S.**

SOURCE : KAYOKO MIYAZAKI, UNIVERSITÉ D'OKINAWA (JAPON).

21 SEPTEMBRE 2014

JOURNÉE MONDIALE DE LUTTE CONTRE LA MALADIE D'ALZHEIMER

AIDEZ LES CHERCHEURS À TROUVER L'ISSUE !



© Graphic Disaster - Fast Mood

Chaque année, France Alzheimer décerne plus d'un million d'euros de bourses de recherche. **Grâce à la générosité de ses donateurs, plus de 200 projets ont ainsi déjà été soutenus en 26 ans.** Sélectionnés par nos deux conseils scientifiques, ces travaux explorent les pistes les plus audacieuses pour vaincre Alzheimer au plus vite. Mais malgré cela, aucun traitement ne permet aujourd'hui de lutter efficacement contre cette maladie si complexe. **Les chercheurs ont besoin de votre soutien pour progresser le plus rapidement possible.**

Contre la maladie d'Alzheimer, la seule solution c'est votre don.
Donnez sur www.francealzheimer.org ou flashez ▶

Si vous êtes vous-même concerné par la maladie d'Alzheimer, notre association peut également vous aider. Contactez-nous au **01 42 97 52 41** ou par email à **contact@francealzheimer.org**

FRANCE ALZHEIMER
& MALADIES APPARENTÉES

France Alzheimer et maladies apparentées – 21 bd Montmartre – 75002 Paris
Reconnue d'utilité publique - www.francealzheimer.org

UN MALADE, C'EST TOUTE UNE FAMILLE QUI A BESOIN D'AIDE

DON en CONFIANCE

Du cartilage sur mesure

HISTOLOGIE L'objectif de faire pousser du cartilage en laboratoire pour ensuite le greffer se rapproche. Des scientifiques se sont concentrés sur des cellules du cartilage du nez : faciles à prélever,

SPL/PHANIE

Une greffe pourrait remplacer le cartilage lésé par l'arthrose (rouge).

elles ont montré une étonnante capacité à se multiplier *in vitro* et à s'implanter dans les articulations. Après des tests concluants chez l'animal, les premiers essais chez l'homme sont en cours. **P. K.**

SOURCE : KAROLIINA PELTTARI, UNIVERSITÉ DE BÂLE, SUISSE.

Des anticorps guérissent des singes d'Ebola

Dix-huit primates ont été sauvés, y compris ceux traités cinq jours après la contamination.

VIROLOGIE Un cocktail d'anticorps mis au point par des chercheurs sous la direction de Xiangguo Qiu, de l'Agence de la santé publique du Canada, a guéri 18 primates infectés par le virus Ebola, responsable de la fièvre hémorragique. Les chercheurs ont sélectionné trois anticorps spécifiques du virus et les ont fait produire par des plants de tabac génétiquement modifiés avant de les injecter aux animaux. Le cocktail, baptisé ZMapp, s'est révélé efficace sur tous les singes traités, même lorsque l'injection avait eu lieu cinq jours après l'exposition au virus, alors que les primates étaient déjà à un stade avancé de la maladie. Pendant ce temps, trois singes traités avec un classique mélange d'immunoglobulines sont morts.

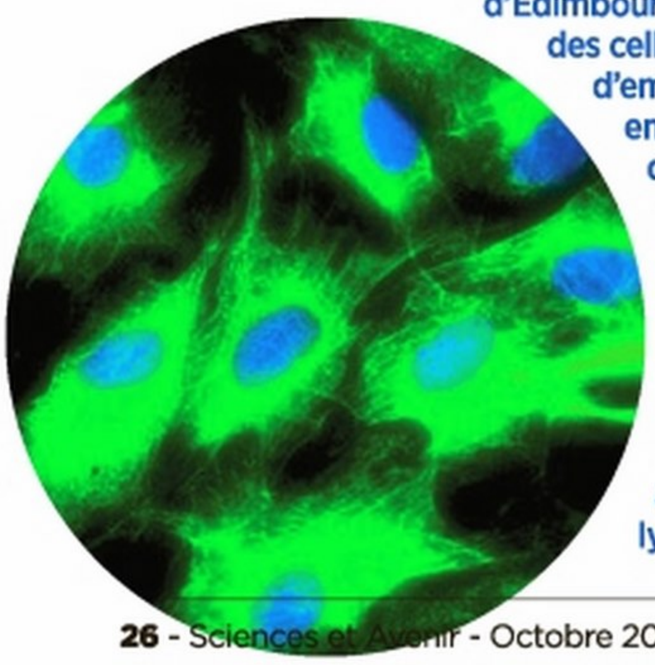
Ces expériences ont été menées avec la souche virale Ebola responsable en 1995 d'une épidémie en République démocratique du Congo (ex-Zaïre), différente des souches circulant actuellement en Afrique de l'Ouest. D'autres tests, *in vitro* cette fois, indiquent cependant que les anticorps capables de neutraliser la souche qui a sévi en 1995 inhibent également la souche présente en Guinée. Pour aller plus loin, il faut trouver des fonds permettant de produire le ZMapp à grande échelle afin qu'un essai clinique puisse débuter. **M. G.**

PUBLIC HEALTH AGENCY OF CANADA

Les recherches ont été menées dans un laboratoire P4 de sécurité maximale.

Un organe 100 % fait au laboratoire

IMMUNOLOGIE Pour la première fois, un organe fonctionnel a été entièrement reconstitué en laboratoire. Il s'agit d'un thymus de souris, qui produit des cellules immunitaires, les lymphocytes T. Les chercheurs du Centre de médecine régénératrice d'Édimbourg ont reprogrammé des cellules fibroblastes d'embryons de souris en cellules épithéliales du thymus *(image ci-contre)*. Après mises en contact avec d'autres types cellulaires du thymus puis transplantation chez un rongeur, ce « néothymus » a pu produire des lymphocytes T. **S. R.-M.**



UNIVERSITY OF EDINBURGH

13 milliards de dollars

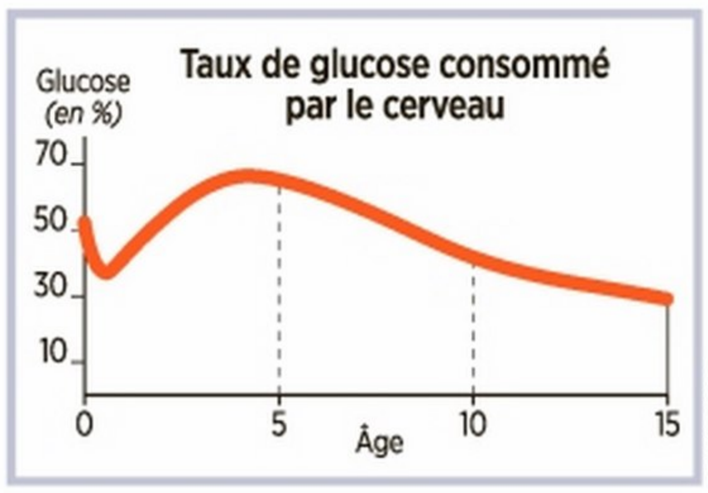
Le chiffre d'affaires du médicament le plus rentable

PHARMACIE Prescrit notamment contre la polyarthrite rhumatoïde, Humira est le plus gros « blockbuster » actuel. Il est commercialisé par AbbVie (laboratoires Abbot), qui vient par ailleurs de s'associer à Calico, une filiale santé de Google. Ce partenariat vise exclusivement les thérapies pour des maladies liées à l'âge. **M. N.**

Chez l'enfant, le cerveau monopolise le sucre

PHYSIOLOGIE Chez un enfant de 4 ans, la captation du glucose par l'encéphale représente environ 66 % du métabolisme total de l'organisme au repos. Cette demande en glucose est si élevée durant l'enfance qu'elle ralentit la croissance. **M. G.**

SOURCE : C. KUZAWA, NORTHWESTERN UNIVERSITY, EVANSTON (ÉTATS-UNIS).



BETTY LAFON

MALADIE D'ALZHEIMER ET MALADIES APPARENTÉES

La recherche sur la maladie d'Alzheimer :

Le point de vue du Professeur Mathieu Ceccaldi

© Pr Mathieu Ceccaldi

Professeur Mathieu Ceccaldi - *Président du Conseil scientifique sciences médicales de France Alzheimer et maladies apparentées. Chef de service de neurologie et de neuropsychologie CHU la Timone de Marseille. Coordonnateur du CMRR Marseille.*

La recherche est active et elle avance. Mais pas aussi vite que toutes les familles touchées par la maladie d'Alzheimer le souhaiteraient.
En effet, il est important de rappeler qu'à ce jour, il n'existe aucun traitement. Ni curatif ni préventif.
En soutenant la recherche, en particulier fondamentale, depuis plus de 25 ans maintenant, l'association France Alzheimer et maladies apparentées favorise les avancées scientifiques nécessaires et attendues en permettant l'exploration de voies de recherche originales et audacieuses.

Qu'est ce qui a motivé votre implication auprès de l'association France Alzheimer et maladies apparentées ?

Mathieu Ceccaldi. - Avec plus de 25 années d'engagement auprès des chercheurs, France Alzheimer et maladies apparentées a participé à la structuration de la recherche sur la maladie d'Alzheimer en France.
En effet, dès 1988, France Alzheimer donne l'élan à la recherche française sur la thématique en attribuant ses premières bourses. Depuis, son soutien n'a cessé de se renforcer avec, depuis 2009, plus d'un million d'euros de bourses de recherche alloué chaque année.

En soutenant la recherche d'une part et en apportant une aide très concrète aux familles (groupes de parole, temps de répit, accompagnement, conseil…) d'autre part, l'Association s'est engagée dans une double approche courageuse, qui me paraît essentielle : répondre aux besoins concrets et quotidiens des personnes malades et de leurs proches et à plus long terme, contribuer au développement accéléré et à la mise en place d'approches thérapeutiques et de prévention efficaces en misant sur la recherche.

Pour poursuivre ce travail indispensable, l'association France Alzheimer a besoin de votre soutien.
D'avance, je vous remercie de l'aide que vous pourrez lui apporter.

Plus de 100 ans après sa découverte par le Dr Alois Alzheimer, la recherche sur la maladie d'Alzheimer semble avancer à petits pas. Pourquoi ?

Mathieu Ceccaldi. - Aujourd'hui, on connaît les lésions cérébrales caractéristiques de la maladie d'Alzheimer. Elles sont de 2 types :
Des plaques amyloïdes qui recouvrent les neurones et leurs prolongements. Leur formation est provoquée par l'accumulation anormale du peptide A-bêta, dit « amyloïde », d'où leur nom.
Des filaments pathologiques qui s'accumulent à l'intérieur des neurones, dont la formation est provoquée par un dysfonctionnement d'une autre protéine, la protéine Tau.
Aujourd'hui, il nous faut encore comprendre pourquoi, quand et comment ces lésions pathologiques s'installent dans le cerveau. Parallèlement, un objectif majeur est d'identifier tous les facteurs biologiques (comme la neuro-inflammation par exemple) qui sont susceptibles d'aggraver la pathologie.

Pour enfin trouver des réponses à ces questions la recherche doit explorer de multiples voies et ne négliger aucune piste. C'est de ce travail fondamental que dépendent tous les développements en matière de traitement.

FRANCE ALZHEIMER & MALADIES APPARENTÉES

www.francealzheimer.org

UN MALADE, C'EST TOUTE UNE FAMILLE QUI A BESOIN D'AIDE

Le prototype est testé à terre dans une zone industrielle de Port-Saint-Louis-du-Rhône.

NENUPHAR

L'éolienne couchée est dans le vent

Positionner le moyeu des pales à l'horizontale réduit la taille du mât et abaisse le centre de gravité de l'éolienne. Un avantage pour cet engin qui devra flotter en mer.

ÉNERGIE Ceci peut sembler un détail mais il change tout : le moyeu des pales de l'éolienne Verti Wind est vertical et non horizontal comme dans les hélices classiques. En clair, l'éolienne est couchée ! Avantages ? « *Des mâts moins élevés, un centre de gravité plus bas, pas de systèmes d'orientation des rotors et des pales* », détaille Charles Smadja, fondateur de Nenuphar, la start-up française conceptrice. L'objectif est de la faire flotter loin en mer, au-delà de la profondeur de 50 m à partir de laquelle il devient trop onéreux de fixer une éolienne au sol.

Un prototype de 50 m de haut et de 50 m de diamètre pour une puissance de 2 mégawatts (une éolienne *offshore* fixe développe 6 MW pour des mâts de 125 m) est actuellement testé à terre à Port-Saint-Louis-du-Rhône (Bouches-du-Rhône). Un essai en mer sera mené dès 2016. Et la première ferme éolienne devrait voir le jour vers 2018 à 20 km des côtes. À cette distance, pas de nuisance paysagère, économique ou touristique. Un point important car les modèles définitifs seront de véritables géants, hauts de 100 m. Avec pour objectif des puissances supérieures à celles des éoliennes *offshore* actuelles. **L. C.**

La vitesse est un bon mouchard

GÉOLOCALISATION Repérer une voiture sans l'aide du GPS, c'est possible : il suffit de connaître son point de départ et sa vitesse durant un parcours. On en déduit la position en faisant correspondre les variations de vitesse avec les éléments du parcours qui influencent la vitesse : types de routes, croisements, feux, etc. **O. H.**

SOURCE : JANNE LINDQVIST, RUTGERS UNIVERSITY (ÉTATS-UNIS).

Hoverbike, la moto volante

TRANSPORTS **Ses inventeurs la voient comme une alternative bon marché à l'hélicoptère. Cette machine, baptisée Hoverbike, se présente sous la forme d'un châssis porté dans les airs par quatre hélices. Pour l'heure, il n'existe qu'une version miniature à 4 hélices capable d'emporter une charge de 4,8 kg. Ce démonstrateur doit permettre de récolter des fonds pour passer à l'échelle 1. Las, une version « bicoptère » semble irréaliste du fait du coût des équipements nécessaires pour assurer sa stabilité. E. L.**

HOVER-BIKE.COM

100

Le nombre de feux rouges piratés simultanément

RÉSEAUX Des scientifiques américains ont piraté, avec l'accord des autorités locales, une centaine de feux tricolores pour faire la démonstration de la fragilité de leur commande par des réseaux sans fil. **M. N.**

SOURCE : J. ALEX HALDERMAN, UNIVERSITY OF MICHIGAN, ANN ARBOR (ÉTATS-UNIS)

À VOIR SUR TABLETTE

Un flashmob de robots

ROBOTIQUE **Des machines d'à peine quelques centimètres de diamètre, baptisés Kilobots, collaborent pour générer des comportements complexes. Pour obtenir ces formes, des chercheurs de Harvard (États-Unis) ont découvert qu'il suffit que les 41 024 robots puissent communiquer avec leurs voisins et recueillir des informations sur l'organisation globale de l'essaim. J. I.**

M.RUBENSTEIN/HAVARD UNIVERSITY

L'APPLI DU MOIS

Hyperlapse, des accélérés stables

IMAGERIE Comme le timelapse, l'hyperlapse consiste à prendre des photos à intervalles réguliers, mais cette fois en déplaçant l'appareil photo. Pour éliminer les vibrations, le site Instagram a développé une application qui enregistre la moindre secousse à l'aide du gyroscope du smartphone, et se sert de cette information pour stabiliser les images les unes par rapport aux autres. **D. H.**

STAR TREK

L'outil de diagnostic de Mr Spock va devenir réalité.

Le tricordeur en compétition

MÉDECINE Dix équipes finalistes, de la Nasa et de l'université Harvard (États-Unis) notamment, ont été sélectionnées par le jury du Qualcomm Tricorder X Prize pour fabriquer un « tricordeur ». Cette machine était utilisée par Monsieur Spock et le Docteur McCoy dans la mythique série télévisée *Star Trek* pour diagnostiquer à distance une maladie. Le prix sera de 10 millions de dollars financés par la société américaine Qualcomm. Il sera décerné en janvier 2016 lors du 60e anniversaire de la série télévisée. Les tricordeurs devront identifier 15 pathologies au moyen de caméras miniatures et d'une série de capteurs applicables sur la peau. **F. D.**

SOURCE : QUALCOMMTRICORDERXPRIZE.ORG

C. BOWMAN/NASA LANGLEY

Le GL-10 Greased Lightning a une envergure de 30 cm.

L'avion électrique décolle à la verticale

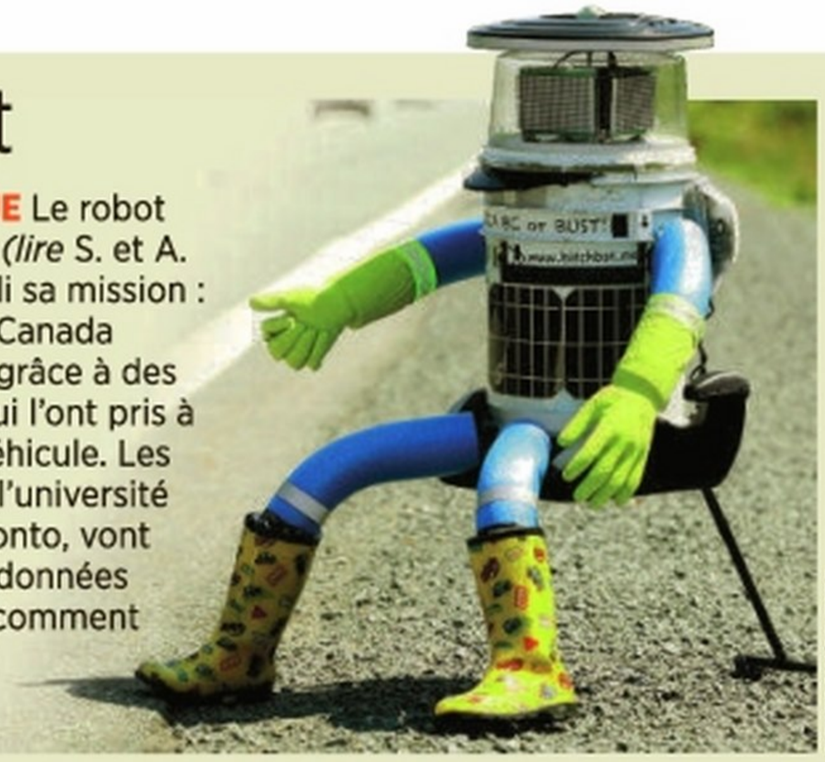
Les 10 moteurs de ce prototype de la Nasa sont fixés sur une aile pivotante.

AÉRONAUTIQUE Concilier le meilleur des deux mondes entre la facilité de décollage d'un hélicoptère, capable de s'élever à la verticale sans l'aide d'une piste, et la vitesse d'un avion. Et le tout en n'utilisant que des moteurs électriques. Tel est le défi que s'est lancé la Nasa. L'agence spatiale américaine a mis au point un prototype miniature (et donc sans pilote) baptisé GL-10 Greased Lightning. Cet appareil de 30 cm d'envergure environ s'élève dans les airs grâce à 10 moteurs électriques, puis ses ailes basculent vers l'avant, donnant alors à l'appareil une aérodynamique identique à celle d'un avion. Le premier décollage vertical, prudemment sécurisé par un câble, a été réussi en août, et des vols libres sont prévus pour la fin de l'année.
Aucune donnée n'a été communiquée sur l'autonomie de cet engin volant. Un facteur crucial vu le nombre de moteurs. Aussi, si l'agence poursuit son objectif de mettre à l'épreuve la propulsion électrique sur tous types d'engins volants, elle réfléchit à recourir dans le cas présent à une solution hybride. Des petits moteurs thermiques intégrés dans le fuselage de l'appareil pourraient ainsi alimenter un alternateur à même d'accroître considérablement l'autonomie. **E. L.**

RETOUR SUR

Hitchbot

CYBERNÉTIQUE Le robot auto-stoppeur *(lire* S. et A. *n° 810)* a rempli sa mission : il a traversé le Canada d'est en ouest grâce à des conducteurs qui l'ont pris à bord de leur véhicule. Les chercheurs de l'université Ryerson, à Toronto, vont dépouiller ses données pour analyser comment les humains et Hitchbot ont interagi. **M. N.**



P. DARROW/REUTERS

Piratage à mains nues

INFORMATIQUE D'un simple contact de la main, Eran Tromer, un informaticien de l'université de Tel-Aviv (Israël), peut pirater un ordinateur. Son attaque consiste à se servir de son corps, bon conducteur d'électricité, pour capter

TEL AVIV UNIVERSITY

L'appareil, ici placé au poignet, capte les fuites de courant de l'ordinateur.

les fuites de courant à la terre d'un ordinateur et les réceptionner sur un appareillage discret porté sous ses vêtements. Celles-ci se produisent en effet quand la machine exécute une tâche, notamment lorsqu'un logiciel de cryptage est en cours d'utilisation. Les variations de ces fuites constituent un signal caractéristique permettant d'identifier la clé utilisée par le logiciel de cryptage *(lire aussi p. 84)*. **O. H.**

Le bruit, source d'énergie

TÉLÉPHONIE Bientôt, les smartphones se rechargeront peut-être tout seuls, juste avec le bruit ambiant. C'est du moins ce qu'espèrent des chercheurs britanniques qui ont mis au point avec le fabricant de téléphone Nokia, un « nanogénérateur » à base d'oxyde de zinc. Il s'agit d'un dispositif piézoélectrique qui convertit en électricité les moindres vibrations acoustiques. Et le bruit ambiant permet de créer une tension de 5 volts, suffisante pour charger un smartphone. **O. H.**

Alzheimer objectif prévention

Les chercheurs en sont désormais certains : on peut réellement retarder de plusieurs années l'apparition des symptômes de cette maladie neurodégénérative, à défaut de la guérir. Une approche très prometteuse.

Dossier réalisé par
Elena Sender

Les défenses se préparent à tous les âges de la vie pour se maintenir en dessous du seuil de déclenchement de la maladie.

IMAGINEZ 100 PERSONNES, âgées de plus de 60 ans, rassemblées dans une pièce. Plus de six d'entre elles seront atteintes d'une démence au cours de leur vie selon les statistiques de l'Organisation mondiale de la santé (6,2 % en Europe et 6,9 % aux États-Unis). Et 70 % de ces cas seront dus à la maladie d'Alzheimer, affection cérébrale aboutissant à une amnésie puis à une perte irréversible des capacités intellectuelles. Pour l'heure, aucun traitement disponible n'a démontré son efficacité bien que la recherche explore cinq pistes différentes *(lire pp. 34-35)*. Mais, pour la première fois, les chercheurs commencent à parler de prévention, non pour empêcher la maladie, mais pour retarder le plus longtemps possible le déclenchement des symptômes.

Car ils en sont désormais certains : la maladie d'Alzheimer se déclenche beaucoup plus tôt qu'on ne le pensait jusqu'alors, dès l'âge de 50-60 ans. Un changement de paradigme qui révolutionne la vision que chacun peut avoir de cette affection. « *Alzheimer n'est plus considérée comme une maladie neurodégénérative des personnes âgées*, explique Harald Hampel, neurologue et psychiatre à l'Institut de la mémoire et de la maladie d'Alzheimer, à Paris. *Le mauvais repliement de protéines du type prion qui en est responsable débute silencieusement dès l'âge mûr, et ce sont uniquement les premiers symptômes cliniques qui apparaissent tardivement, vers 70 ou 80 ans.* » L'enjeu est de taille car ces symptômes concernent aux trois quarts des personnes âgées de plus de 80 ans, selon l'étude Paquid menée par Jean-François Dartigues, de l'Inserm-université de Bordeaux-II, qui a suivi 4134 sujets depuis 1988. Retarder pourrait donc vouloir dire... éviter ! « *Si l'on repoussait actuellement de cinq ans l'apparition de la démence d'Alzheimer, moitié moins de gens seraient atteints*, note Harald Hampel. *Un report de dix ans diminuerait la prévalence de 75 %.* » Et cet objectif est désormais théoriquement atteignable, selon le spécialiste, grâce à la connaissance des différents facteurs de risques et de protection.

50-60 ans
âge moyen du déclenchement de la maladie.

70-80 ans
âge moyen de l'apparition des premiers symptômes.

-75 %
de prévalence de la maladie si on retarde l'apparition des symptômes de dix ans.

Agir sur les facteurs environnementaux

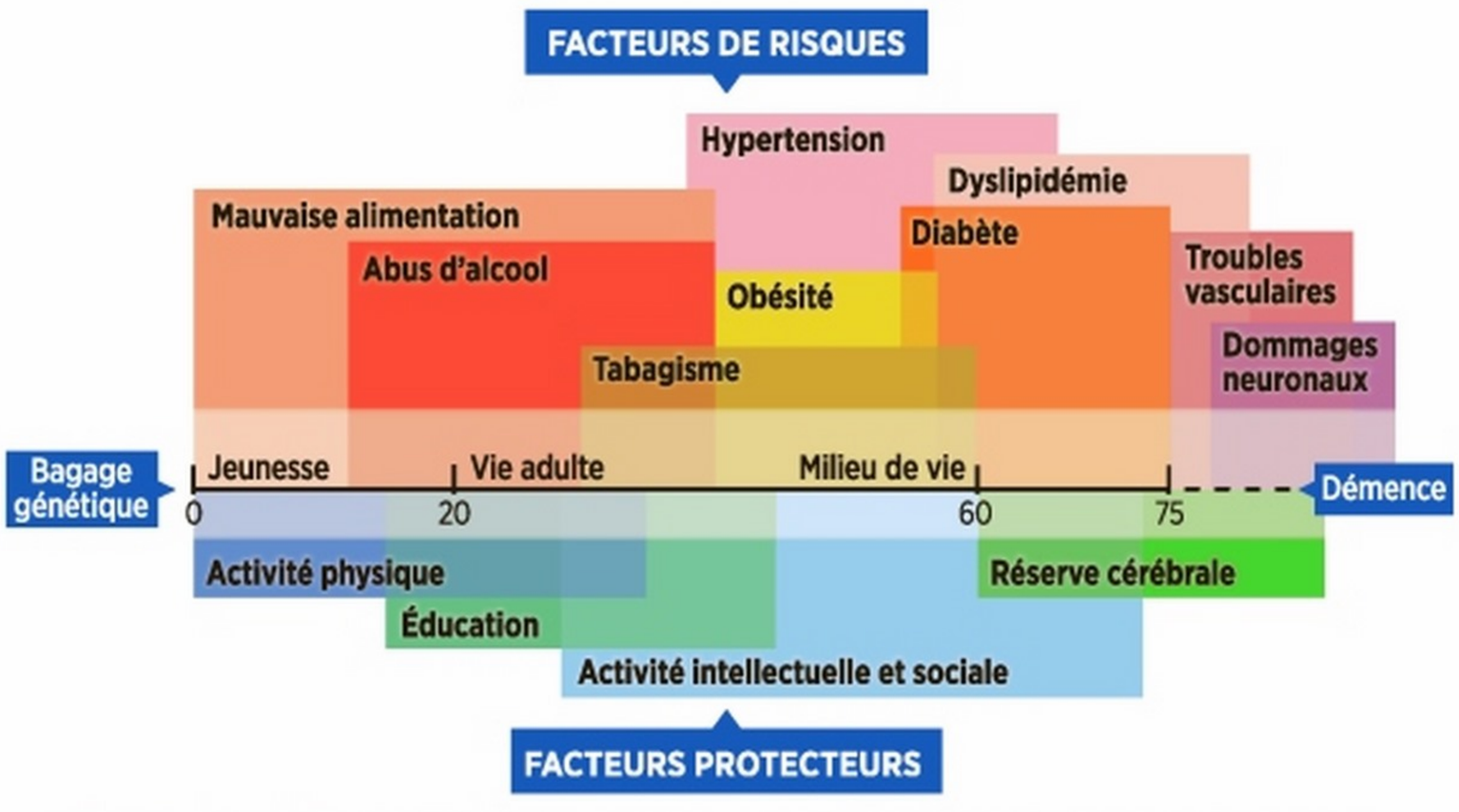
Ces facteurs sont de deux ordres, comme l'explique Philippe Amouyel, directeur général de l'Institut Pasteur de Lille, et de la fondation Plan Alzheimer. « *On ne naît pas* ▶

DIAGNOSTIC

Vers un dépistage génétique ?

Nous sommes plus ou moins prédisposés génétiquement à la maladie d'Alzheimer. Dans moins de 2 % des cas, elle est transmise à coup sûr et se déclenche avant 50 ans. C'est la forme dite familiale due à une mutation dominante d'un des trois gènes APP, PSEN1 et PSEN2. Elle entraîne une surproduction du peptide A-bêta toxique *(voir l'infographie p. 35)*. Les autres formes, les plus fréquentes, dites sporadiques, surviennent après 65 ans. Elles sont favorisées, elles, par une combinaison de gènes mutés de façon aléatoire. « *Nous avons identifié 21 régions géniques, plus 14 en cours de confirmation, dont la fréquence varie chez les malades d'Alzheimer* », précise Philippe Amouyel, directeur général de l'Institut Pasteur de Lille. Deux tiers de ces gènes augmentent le risque de contracter la maladie, notamment en diminuant le système naturel d'élimination du peptide A-bêta. Mais un tiers de ces gènes peut protéger. « *Les Islandais, par exemple, présentent une mutation particulière dans le gène de l'APP qui les protège, ils souffrent beaucoup moins d'Alzheimer que les autres Européens* »
Le gène APOE qui code pour un transporteur de lipides se présente, lui, sous plusieurs formes. La forme 4 (APOE4) est très délétère, ses porteurs voyant leur risque multiplié par 2 ou 3. Alors que la forme 2 (APOE2), elle, protège. De même, il a été montré que le gène qui code pour la protéine REST, neuroprotectrice, est très exprimé chez des seniors en bonne santé et absent chez les malades.
Est-ce à dire qu'il faudrait mettre en place un dépistage génétique ? « *Le dépistage n'est pas recommandé, dans l'état actuel des connaissances, dans l'intérêt de l'individu et celui de la société*, répond Philippe Amouyel. *Un dépistage n'a de sens, en effet, que s'il existe un diagnostic simple et fiable, des protocoles décisionnels et des armes thérapeutiques. Or, à ce jour, rien de cela n'existe. Les règles et l'éthique internationales sont très claires à ce sujet.* »

▶ *tous égaux devant la maladie d'Alzheimer. Il y a une composante de terrain* [génétique] *et une composante environnementale* [environnement et comportement]. *La première expliquerait 60 % de la maladie selon des études menées sur des jumeaux.* » *(Lire l'encadré ci-dessus.)* Les facteurs génétiques sont, par définition, non modifiables. Mais on peut agir sur les seconds. « *Les facteurs environnementaux ont un impact sur la façon dont s'expriment nos gènes*, affirme Harald Hampel. *Si nous adoptions des styles de vie protecteurs, nous pourrions nous maintenir en dessous de la frontière de déclenchement des symptômes. Nous pouvons donc tous faire quelque chose pour retarder Alzheimer. À condition de préparer nos défenses tout au long de notre vie* ».
Selon les travaux de Deborah Barnes, du Medical Center de San Francisco (États-Unis), un faible niveau d'éducation augmenterait de 19 % le risque de contracter la maladie, le tabagisme de 14 %, l'inactivité physique de 13 %, la dépression de 11 %, l'hypertension artérielle du milieu de vie de 5 %, le diabète de 2 % et l'obésité du milieu de vie de 2 %. Pourtant, ces données observées n'établissent pas de lien de causalité directe. Il s'agit donc maintenant d'apporter la preuve que modifier ces facteurs retarderait réellement la maladie.



Si tout au long de la vie, des facteurs peuvent accroître le risque de démence, d'autres facteurs protègent contre ce risque (d'après Kivipelto et al. 2013, *Alzheimer's & Dementia*).

Des études tentent d'établir les impacts du mode de vie

À cette fin, l'Europe a lancé trois études de prévention de la démence dans le cadre de l'European Demantia Prevention Initiative (EDPI) créée en 2011. L'étude néerlandaise preDiva essaie ainsi

pendant deux ans d'améliorer l'état de santé de 3534 sujets — dont plus d'un tiers souffre des problèmes cardio-vasculaires — pour déterminer l'impact sur la démence. L'étude finlandaise FINGER (Finnish Geriatric Intervention Study to Prevent Cognitive Impairment and Disability) suit pendant deux ans 1200 sujets ayant un risque de déclin cognitif en leur proposant un guide nutritionnel, un entraînement physique et cognitif, une activité sociale et une gestion du risque vasculaire. Quant à l'étude française MAPT (Multidomain Alzheimer Preventive Trial), elle suit depuis trois ans 1680 personnes d'au moins 70 ans dites fragiles. Certaines ont suivi des ateliers collectifs, des recommandations nutritionnelles et de l'activité physique. D'autres ont pris des oméga 3. Et les premiers résultats de ces études — encore confidentiels — semblent encourageants.

En attendant les premières recommandations qui découleront peut-être de ces études, que faire ? « *Éviter les agressions contre les neurones et les vaisseaux du cerveau* », martèle Henryka Lesniewska, docteur en psychologie, neuropsychologue et art-thérapeute*, qui a suivi 5000 malades ces vingt-cinq dernières années, notamment dans le centre hospitalier d'Arpajon (Essonne). Pour la thérapeute, dès l'âge de 40 ans chacun doit mettre en place une « prévention primaire » relevant d'actions qui protègent la réserve cérébrale, cet ensemble de neurones et de connexions acquis à la naissance et renforcé durant les apprentissages (*voir l'infographie ci-contre*). La prévention passe notamment par l'arrêt du tabagisme et la prise en charge des troubles cardio-vasculaires ainsi que de la dépression. Mais aussi par un équilibre nutritionnel et une bonne activité physique, extrêmement bénéfiques (*lire pp. 34-35*). La thérapeute insiste enfin sur la nécessité d'une stimulation cognitive apportée par une vie intellectuelle et sociale riche.

Sans oublier la vigilance. « *Quand on se plaint d'un trouble de mémoire, il faut courageusement faire un bilan le plus tôt possible car il est souvent dû à une dépression, qui se soigne* », assure Henryka Lesniewska. Et s'il s'agissait vraiment d'un début d'Alzheimer ? Pas de panique pour autant. « *Sortons de l'idée d'une "condamnation à mort" contre laquelle on ne peut rien faire !* poursuit-elle avec vigueur. *Car, là encore, il y a beaucoup de choses à entreprendre tout au long de la maladie.* »

Des actions pour limiter les troubles de la mémoire

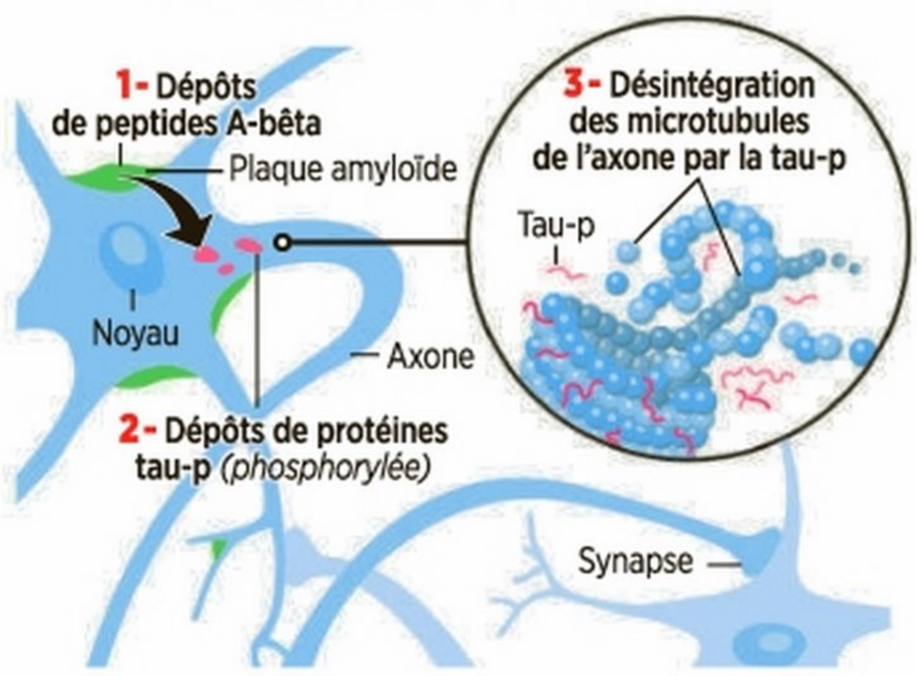
On parle alors de « prévention secondaire », c'est-à-dire des actions à mettre en place pour limiter les troubles de la mémoire puis les troubles du comportement, l'apathie, la perte de repères dans l'espace et le temps. Le patient doit dès lors se concentrer sur les capacités qui perdurent car la maladie n'entraîne pas la détérioration de toutes les fonctions intellectuelles. « *Je vois comment les patients évoluent lorsqu'ils sont stimulés, par la peinture, la danse, les voyages, par exemple. Leurs symptômes peuvent se stabiliser pendant dix ans !* » La thérapeute assure : « *Diagnostiquée et traitée plus précocement, la maladie d'Alzheimer évoluerait plus doucement et plus lentement, sans une détérioration globale de toutes les fonctions supérieures et du comportement.* » Et d'appeler à la mobilisation « *pour mettre en avant la préservation des capacités et non uniquement les troubles du comportement, seuls pris en compte aujourd'hui par le système médical et politique* ». Et ce, afin que l'image négative de la maladie laisse place à une vision plus optimiste. ■

Illustrations : Petica pour S. et A.

* Auteure de *Faire face à la maladie d'Alzheimer. Prévenir, surmonter, ralentir*, Retz, 2013.

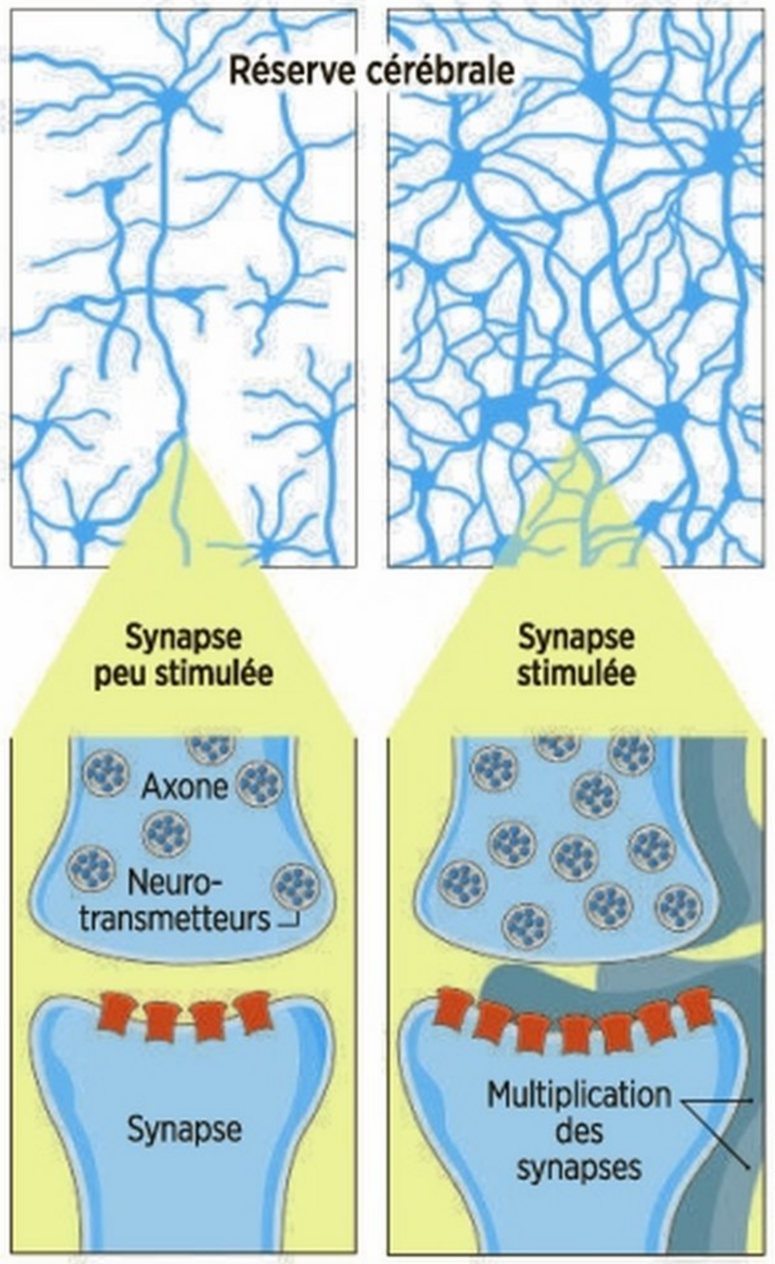
MÉCANISME BIOLOGIQUE

Comment la maladie attaque les neurones



Une protéine toxique, le peptide A-bêta, s'accumule à l'extérieur des neurones et forme la plaque amyloïde. Celle-ci stimule la phosphorylation de la protéine tau. La tau-p va désintégrer l'axone des neurones, provoquant leur mort.

Comment le cerveau peut résister



La réserve cérébrale (ensemble de neurones et de synapses acquis à la naissance) compense les neurones détruits par la maladie et permet d'y résister un certain temps. Cette réserve peut être préservée à tous âges par la stimulation cognitive, qui produit de nouveaux neurones, renforce et multiplie les synapses.

Les 5 clés pour repousser l'appar

RENFORCER SES NEURONES

Des études les plus longues possibles

« PASSE TON BAC, TON CERVEAU VIEILLIRA MIEUX ! » Ce pourrait être la devise de l'Éducation nationale. Une scolarité longue conférerait en effet une protection contre les manifestations cliniques d'une démence ou d'Alzheimer. Elle favorise le maintien de la réserve cérébrale (somme des neurones et des connexions cérébrales). Ainsi, atteindre ou dépasser le certificat d'études serait associé à un moindre risque de démence (1). Ce qu'appuie une étude canadienne (2) : effectuer moins de six années de scolarité (à partir du CP) doublerait le risque par rapport à ceux dont la scolarité a dépassé treize années (bac +1). Même constat après observation de 20 658 Européens de plus de 50 ans (3) : chaque année supplémentaire passée sur les bancs de l'école compensera quatre ans de vieillissement cognitif. De plus, parler deux langues couramment repousserait de cinq ans l'apparition des symptômes (4). Les diplômes ne font cependant pas tout. Un travail non répétitif et stimulant est associé à un risque moindre de démence (5).

(1) étude Paquid, J. F. Dartigues, *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry*, 2001. (2) Mc Dowell I, *J. Clin. Exp. Neuropsychol.* 2007. (3) étude Share, Adam S., Économie et Statistique, 2007. (4) Craik F. *Neurology*, 2010. (5) Karp. A., *Am. J. Geriart. Psychiatry*, 2009.

ENTRETENIR SON CORPS

Pratiquer un sport régulièrement

30 À 60 MINUTES D'ACTIVITÉ PHYSIQUE quotidiennes (marcher, monter les escaliers...) plus deux séances de 20 à 60 minutes par semaine d'exercices (randonnée, vélo...), telle est la prescription des scientifiques pour un cerveau en pleine forme. Une méta-analyse, incluant 15 études prospectives sur 33 816 patients non déments de plus de 55 ans, a montré que les personnes ayant une activité physique faible à modérée ont 35 % de risque en moins de développer des troubles cognitifs que des sédentaires, et jusqu'à 38 % pour une activité intensive (1). *« L'activité physique maintient une bonne santé des vaisseaux, ce qui entretient un fonctionnement optimal du cerveau*, explique le neurologue Bernard Croisile. *Elle aurait aussi un effet anti-inflammatoire, antioxydant et surtout favoriserait la libération de neurotrophines. Ces facteurs de croissance stimulent la neurogenèse au niveau de l'hippocampe* [structure cérébrale impliquée dans la mémorisation]. *Sur 120 adultes de plus de 66 ans, un an d'exercices réguliers est associé à un accroissement du volume de l'hippocampe de 2 %, avec de meilleurs taux de facteurs de croissance cérébraux alors que chez le groupe témoin (inactifs) l'hippocampe rétrécissait de 1,4 % (2).*

(1) Sofi F., *J. intern. Med.*, 2011. (2) Erickson, *Pnas*, 2011.

SURVEILLER SES VAISSEAUX

Soigner cholestérol, hypertension et diabète

LE TRAITEMENT DE L'HYPERTENSION ARTÉRIELLE permet de réduire le risque d'Alzheimer. En 1998, une étude (Syst-Eur) sur plus de 2000 personnes de plus de 60 ans dévoilait que deux ans de traitement de l'hypertension artérielle réduisaient de moitié le nombre de cas de démence (1). Une personne d'âge moyen hypertendue a un risque accru de connaître une démence liée à l'âge. Selon l'étude Honolulu Asian Aging, ce risque serait associé à une baisse de peptide A-bêta circulant dans le plasma (2). Le cholestérol est aussi un facteur de risque. Celui-ci est réduit de 29 % chez les patients traités contre le cholestérol par statines (3). Un excès de cholestérol en milieu de vie est lié à un risque accru de la maladie (4). Le diabète favorise aussi l'apparition des troubles cognitifs par perte de neuroplasticité de l'hippocampe. L'association entre indice de masse corporelle trop élevé en milieu de vie et risque d'Alzheimer est aussi avérée. Enfin, une étude (5) montre que plus on fume, plus le risque d'Alzheimer augmente, avec un accroissement du nombre de plaques amyloïdes dans le cerveau.

(1) Forette F., *Lancet*, 1998.
(2) Shah NS, *Hypertension*, 2012.
(3) Swiger K, mayo cli proc 2013. (4) Kivipelto, BMJ, 2001. (5) Tyas SI, *Neurobiolo. Aging* 2003.

ition de la maladie

OPTIMISER L'ALIMENTATION

Bien composer son assiette

MANGER DES FRUITS, légumes, poissons, céréales, huiles riches en omégas 3, vin, c'est bon pour le cerveau (1). Selon une étude (2) menée sur 2000 personnes, pour celles qui ont suivi ce régime, le risque de démence est diminué de 40 %. La consommation régulière de poissons riches en omégas 3 réduirait ce risque dans les sept ans qui suivent (3). Un manque de vitamines B9 et B12 (présentes dans la levure, le foie, le melon, les épinards...) multiplie par deux le risque de développer Alzheimer. Une étude sur des personnes de plus de 65 ans a révélé que celles dont le taux de vitamine D dans le sang était inférieur à 25 nmol/l présentaient un risque multiplié par 2,22. (4). Il faut savoir aussi que deux à quatre tasses de café par jour réduiraient le risque d'Alzheimer. La caféine protège les neurones, chez la souris du moins, réduit les plaques amyloïdes et atténue certains mécanismes inflammatoires (5). Enfin, une relation positive a été démontrée entre une consommation de vin modérée (de l'ordre de 25 à 50 cl par jour) et une moindre incidence de la maladie d'Alzheimer (6).

(1) lire *S. et A.* n° 811, sept. 2014. (2) Scarmeas, *Ann. Neurol.*, 2007. (3) étude Paquid. (4) Thomas, J. *Neurology*, 2014. (5) Flaten V, *Biochem soc. Trans.*, 2014. (6) Lemeshow S., *J. Epidemiol.*, 1998.

STIMULER SON CERVEAU

Choisir des activités variées

IL VAUT MIEUX PEINDRE, bricoler, faire de la musique, des puzzles, jouer aux cartes, etc., que regarder la télévision. Des activités mentales variées quotidiennes, sociales et de loisirs diminuent le risque de démence (1). Pourvu qu'elles soient stimulantes et non répétitives. « *Le mieux, d'ailleurs, est de ne pas attendre la retraite*, précise Bernard Croisile. *Ces pratiques doivent être développées et entretenues entre 20 et 60 ans* ». Elles maintiennent en effet la réserve cérébrale en activant la plasticité du cerveau. Deux méta-analyses ont été menées sur 29 000 et 47 000 sujets (2). La première montre qu'une activité mentale complexe durant toute la vie est corrélée à une baisse de 46 % de l'incidence de la démence. La seconde que l'entraînement cognitif aide à lutter contre la survenue d'Alzheimer puis ralentit sa progression. Dix patients atteints d'Alzheimer (de 76 ans) et 11 témoins ont été étudiés de 2005 à 2011 (3) : les individus ayant une activité cognitive importante développent moins de plaques amyloïdes que les seniors moins actifs. D'autant plus si les activités ont été effectuées durant la vie entière.

(1) Akbaraly T., *Neurology*, 2009. (2) Valenzuala M., *Psycho. Medicine*, 2006. (3) Landau S., *Arch. Neurol.*, 2012.

PSYCHOTROPES

Évitez les benzodiazépines

Sciences et Avenir avait été le premier à lancer l'alerte dès octobre 2011 (n° 776) dans un numéro qui avait soulevé la polémique tant la nouvelle semblait alarmante : l'utilisation à long terme de somnifères et tranquillisants de la classe des benzodiazépines (Valium, Tranxène, Xanax...) augmente le risque de développer la maladie d'Alzheimer. Dans des proportions inquiétantes puisque, selon l'étude dirigée alors par le professeur Bernard Bégaud, épidémiologiste à l'unité 657 de l'Inserm (Bordeaux), à l'origine de cette découverte, le risque était majoré de 50 %. Une nouvelle étude réalisée par cette même unité et parue dans le *British Medical Journal**, vient de le confirmer : l'utilisation de benzodiazépines pendant trois mois ou plus est associée à un risque accru pouvant atteindre 51 %. Les chercheurs ont, cette fois, étudié la base de données de la Régie d'assurance maladie du Québec et porté leur attention sur les plus de 66 ans ayant eu une prescription de benzodiazépines. « *La force de l'association augmente avec la durée de l'exposition et avec l'utilisation de benzodiazépines à longue durée d'action par opposition aux courtes durées d'action* », précisent les auteurs. Si le lien de cause à effet n'est pas prouvé, cette « *suspicion d'un lien direct possible* » entre consommation de benzodiazépines et maladie d'Alzheimer rappelle — comme nous l'avions fait en 2011 — l'urgence pour les autorités françaises à faire respecter les règles de bonne pratique par les médecins prescripteurs. Rappelons qu'en France plus d'un tiers des personnes de plus de 75 ans fait usage de ces médicaments psychotropes dont 134 millions de boîtes sont vendues chaque année et que la durée médiane du traitement est de sept mois. La France reste le deuxième pays européen consommateur d'anxiolytiques après le Portugal, et d'hypnotiques après la Suède (Afssaps 2012). ■

Carole Chatelain

* *BMJ*, 10 octobre 2014, doi=10.1136/bmj.g5205

Détecter les malades avant les premiers symptômes

Plus de 400 personnes saines participent à une étude française unique au monde, afin d'identifier précocement les premiers signes de la maladie et en repérer les facteurs. Reportage à la Pitié-Salpêtrière à Paris.

À 73 ANS, YOLAINE A BON PIED, bon œil. Elle n'a aucun souci particulier de santé, excepté quelques problèmes de mémoire qui l'agacent. « *Je perds les mots, même très simples, ou le titre du livre que je viens de lire*, raconte-t-elle d'une voix tonique. *Alors, la première idée qui vient, c'est Alzheimer.* » Voici pourquoi Yolaine se retrouve, ce matin-là, à jouer avec des plots en bois dans un bureau de consultation de l'Institut de la mémoire et de la maladie d'Alzheimer IM2A (hôpital de la Pitié-Salpêtrière, à Paris). Après avoir répondu à une petite annonce parue dans un quotidien proposant à des volontaires de participer à un projet de recherche unique au monde. Cette étude, Insight, incluse dans un programme plus large nommé Memento, a pour objectif de suivre plus de 400 personnes saines de 70 ans au moins, présentant une plainte mnésique sans trouble cognitif. Parmi eux, statistiquement, certains déclareront une maladie d'Alzheimer dans les années qui viennent. Mais lesquels ? C'est précisément l'objet de l'étude qui observe en parallèle l'évolution du cerveau et l'état cognitif jusqu'au « point de bascule » (état prodromal), c'est-à-dire le moment où les premiers symptômes deviennent détectables par les tests neuropsychologiques. Le but étant d'identifier les facteurs qui conditionnent l'apparition de la maladie.

L'objectif est de déceler le « point de bascule »

Une atmosphère tranquille règne dans le couloir lumineux de l'institut, égayé par les « écritures » clin d'œil de l'artiste Ben — « *J'ai la mémoire comme une passoire* », « *J'ai oublié où j'ai mis mes clés* » — et dont les fauteuils sont presque tous occupés par des têtes chenues. « *Nous allons suivre ces volontaires au moins jusqu'en 2020 pour décrire l'histoire naturelle de la maladie, inconnue pour le moment* », explique le professeur Bruno Dubois, directeur de l'IM2A, qui sort de son bureau pour saluer le professeur Harald Hampel, neurologue allemand renommé, qui pilote avec lui l'étude Insight. L'espoir de ces chercheurs est de pouvoir identifier chez les personnes qui vont (encore) très bien des signes avant-coureurs (biomarqueurs) de la maladie afin de prévoir la survenue du stade prodromal, et à terme de pouvoir les traiter. « *Quand l'efficacité des médicaments et la tolérance chez les patients Alzheimer déclarés auront été prouvées, l'étape vraiment importante sera de traiter les*

Les volontaires, de plus de 70 ans (ici Yolaine) effectuent des tests neurologiques tous les six mois.

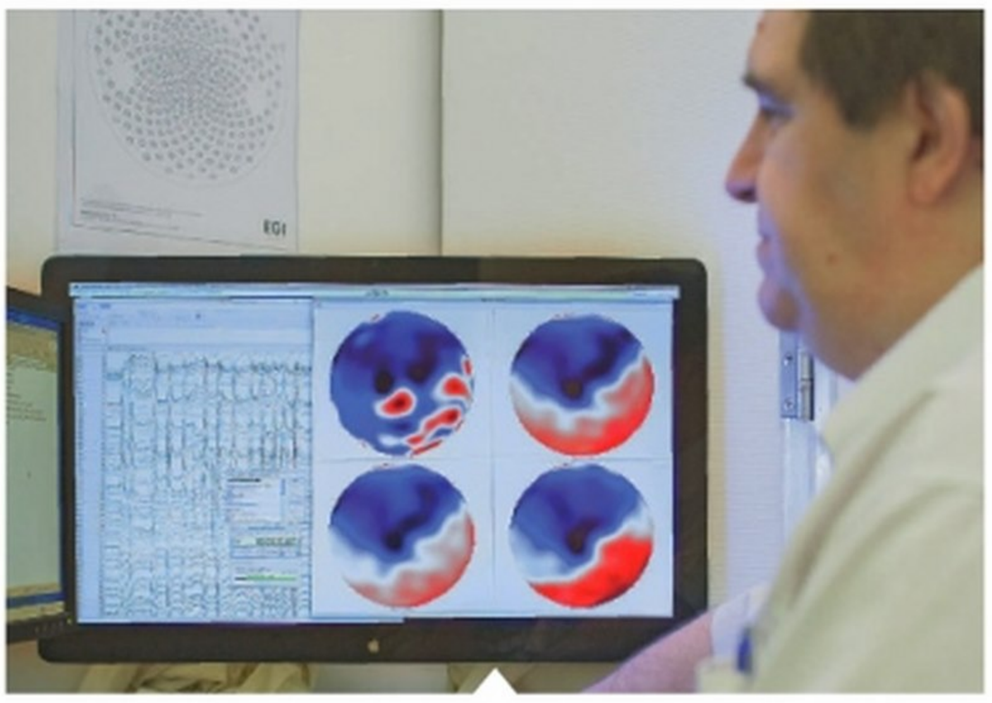
« Nous allons suivre ces volontaires au moins jusqu'en 2020 pour décrire l'histoire naturelle de la maladie, inconnue pour le moment »

Bruno Dubois, directeur de l'Institut de la mémoire et de la maladie d'Alzheimer (IM2A), à Paris

L'électro-encéphalographie (EEG) enregistre les signaux du cortex tandis que la personne effectue des exercices mentaux. Le moindre changement dans l'EEG peut signifier une perte de matière grise et de connexions, la signature d'un début d'Alzheimer.

personnes normales, asymptomatiques à risques afin de retarder l'apparition des symptômes », explique Bruno Dubois.

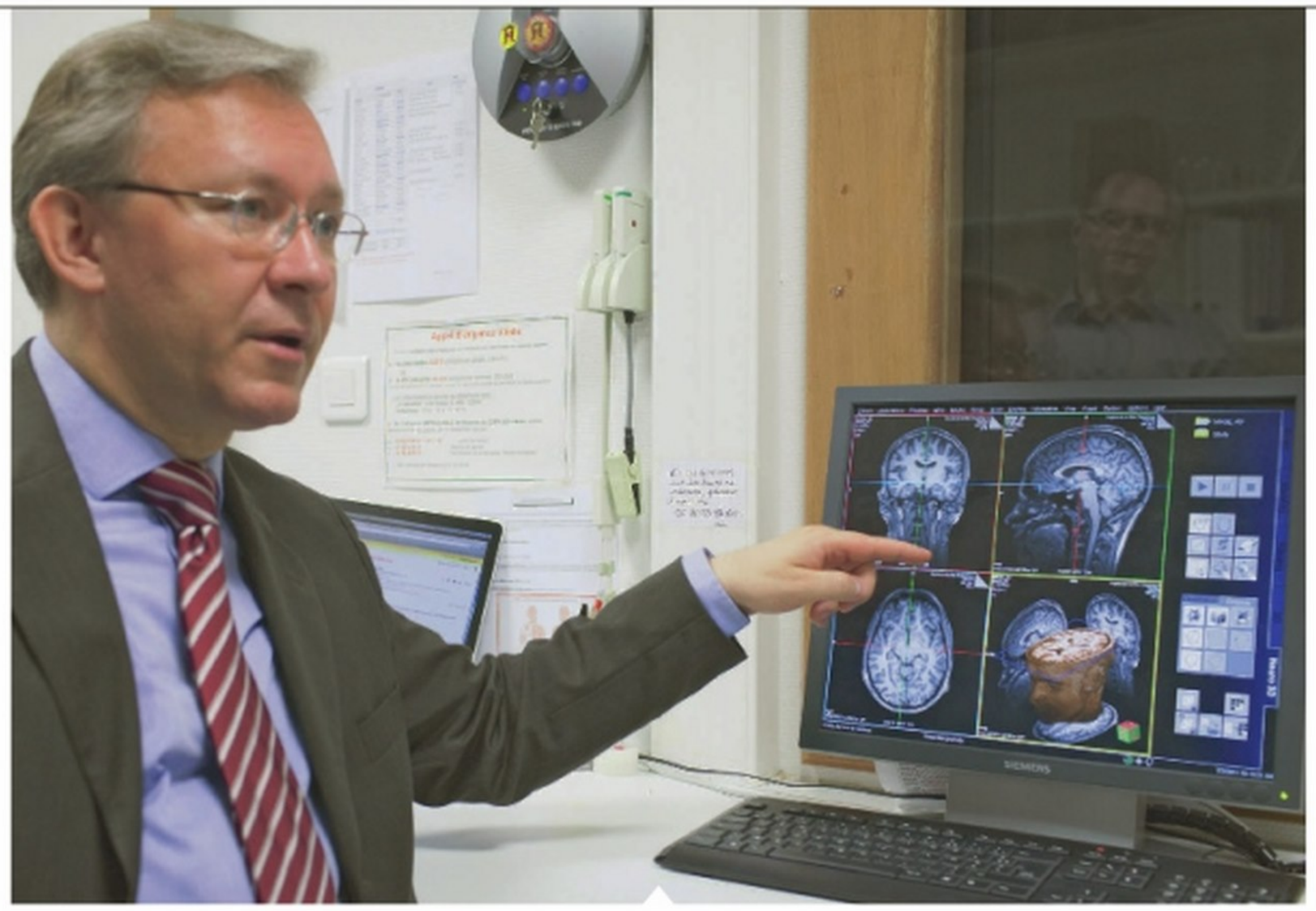
Pendant cinq ans, tous les six mois, Yolaine et les 400 volontaires d'Insight vont donc être examinés sous toutes les coutures en enchaînant une dizaine de tests neuropsychologiques, de mémoire, d'attention, de fonctions instrumentale, langagière, gestuelle, exécutive, etc. Marie Getto, neuropsychologue, guette, elle, les signes d'entrée dans la maladie. « *Certains troubles sont tout à fait normaux au cours du vieillissement, alors que d'autres doivent alerter* », explique-t-elle. En particulier l'impossibilité de mémoriser un nouvel apprentissage, une amnésie dite antérograde, qui correspond au premier stade clinique. Ce jour-là, Yolaine, très en forme, réussit les tests haut la main, avant de se soumettre à une prise de sang. L'échantillon, envoyé à l'Institut du cerveau et de la moelle épinière (ICM) à cent mètres de là, sera analysé dans le service de biochimie du docteur Marie-Claude Potier. Cette dernière ouvre deux grands congélateurs où sont déjà stockées des centaines d'éprouvettes. « *Lorsqu'un cas d'Alzheimer se sera déclaré, les échantillons de sang de la personne concernée seront analysés pour trouver des signatures biochimiques afin de développer un outil de diagnostic et de pronostic, mais aussi d'identifier de nouvelles hypothèses de mécanismes de la maladie.* »



Le docteur Hovagim Bakardjian, de l'IM2A, analyse au fil du test les enregistrements de l'EEG.

En attendant, Yolaine emprunte l'escalier qui s'enfonce vers les caves voûtées de l'IM2A et s'installe dans une cabine insonorisée où elle s'équipe d'un bonnet hérissé de 256 électrodes pour un EEG (électro-encéphalogramme). Pendant une heure encore, face à

Les échantillons de sang prélevés permettent d'identifier des signatures biochimiques de la maladie.



Harald Hampel pilote l'étude Insight. Le neurologue examine des images IRM d'un cerveau. Cette technique permet de mettre en évidence des atteintes structurelles de l'organe, par exemple une atrophie.

un ordinateur, elle va réitérer des exercices mentaux pendant que les signaux de son cortex seront enregistrés. Dans un petit bureau attenant, le Dr Hovakim Bakardjian traque les moindres changements électriques. « *La maladie d'Alzheimer modifie l'EEG au repos et en cours d'exercice. Ces changements sont dus à la perte de matière grise et des connexions. Nous cherchons les signaux les plus précoces et les plus subtils.* »

Atrophie cérébrale et troubles cognitifs sont liés

L'imagerie cérébrale a le même objectif. Deux fois par an, les volontaires d'Insight sont soumis à une IRM, visualisant les différentes atteintes structurelles au cerveau. Une atrophie cérébrale, visible en imagerie, reflète en effet des pertes de synapses, de dendrites et de neurones. Et plus l'atrophie est importante, plus le trouble cognitif est sévère. Ainsi, une décroissance de l'hippocampe – impliqué dans la mémoire – de 4,5 % par an a été constatée chez les malades d'Alzheimer contre 1 % chez des sujets contrôles. Le professeur Hampel affiche les images d'un cerveau d'un volontaire Insight sur l'écran lumineux. Tout semble normal... et pourtant. « *Nous traitons les images par des algorithmes capables d'en révéler les plus infimes changements. On constate ainsi sur ce cerveau les premières atteintes sur la mémoire. Mais pas seulement. Les structures impliquées dans les*

POUR EN SAVOIR PLUS

Comment participer à l'étude

Toute personne peut participer à l'étude Insight à condition d'avoir plus de 70 ans, d'habiter en région parisienne, de ne pas présenter de contre-indication à l'IRM et de ne pas vivre en maison de retraite ni être placée sous tutelle. Tél. : 06.60.38.58.62.

SYMPTÔMES

Pertes de mémoire : normal ou inquiétant ?

TROUBLES CLASSIQUES

- **Oublis concernant les détails d'un événement récent** (emplacement des clés...). Ils surviennent plusieurs heures après les faits et les détails peuvent revenir spontanément.
- **Oublis des noms propres de personnes peu familières** (relations lointaines, acteurs, etc.).
- **Mise en place de stratégies de compensation** (agenda, listes...) qui permettent de préserver une totale autonomie
- **Conscience excessive de ses difficultés** (alors que l'entourage n'est pas inquiet).

TROUBLES ALERTANTS

On peut avoir certains de ces signes sans être atteint d'Alzheimer. Ce qui compte, c'est l'intensité, la répétition et les conséquences sur le quotidien.

- **Oubli d'événements très récents** ou immédiats, handicapant pour la vie quotidienne.
- **Une gêne pour s'organiser et résoudre un problème** (rédiger un chèque, effectuer des formalités administratives...).
- **Difficultés dans les tâches quotidiennes** (oublier une casserole sur le feu...).
- **Désorientation dans le temps et l'espace.**
- **Troubles du langage.**
- **Tendance à égarer les objets** sans pouvoir reconstituer le cheminement de leur rangement
- **Altérations du jugement** (acheter en grande quantité des objets inutiles...).
- **Modification de l'humeur.**
- **Repli professionnel ou lors d'activités sociales** (isolement).

(D'après *Alzheimer, que savoir ? que craindre ?*, B. Croisile, Odile Jacob, 2014.)

fonctions supérieures, le langage, le raisonnement, le comportement, l'humeur... commencent aussi à être altérées. Ce qui explique l'entrée progressive dans la maladie. »

Des mécanismes de compensation existent

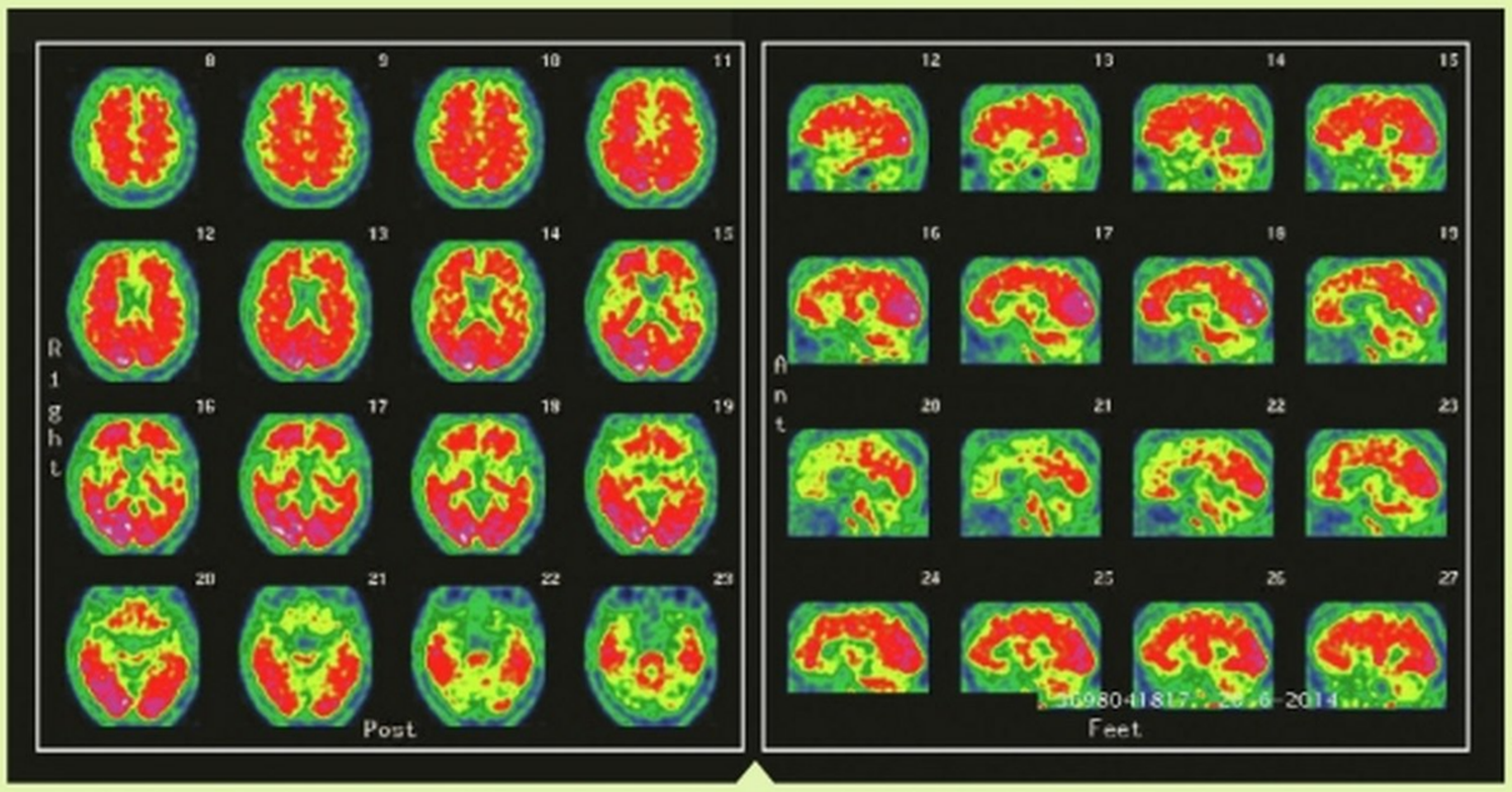
À quelques blocs de là, dans le service de médecine nucléaire, le professeur Marie-Odile Hebert scrute aussi le cerveau des volontaires, mais cette fois avec un PET scan (tomographie par émission de positons). C'est, à ce jour, le seul examen apte à révéler les lésions dues à la maladie, les fameuses plaques amyloïdes *(voir ci-contre)* révélées par un traceur qui les colore en rouge. La scientifique indique sur l'écran certaines zones assombries. « *Ce cerveau est pathologique, chargé en plaques amyloïdes,* explique-t-elle. *Pourtant, le volontaire va bien. Il n'a pas conscience de son état.* » Une étude a ainsi montré que 20 à 30 % des personnes saines ont un tel cerveau. « *Elles peuvent vivre ainsi très normalement un certain temps ou décéder d'une autre cause avant que les symptômes d'Alzheimer ne se déclarent* », poursuit la spécialiste. *Ce qui démontre, avec force, qu'un cerveau atteint peut résister longtemps à la maladie grâce aux mécanismes de compensation qui le protègent [voir l'infographie p. 33]* ». Ce qui sera peut-être le cas chez certains des volontaires de l'étude.

La journée touche à sa fin, Yolaine s'apprête à rentrer chez elle, satisfaite. « *Ça m'intéresse de faire avancer la science. Et si, un jour, je devais déclarer la maladie d'Alzheimer, je sais que je serai bien prise en charge ici. C'est rassurant.* » Elle salue alors tout le personnel de l'Institut, leur donnant rendez-vous dans six mois. ■

Reportage photo : Julie Balagué pour *Sciences et Avenir*

IMAGERIE

Un cerveau malade sans symptômes



Bien que son cerveau soit recouvert de plaques amyloïdes (en rouge sur ces images vues en tomographie à émission de positons), ce volontaire de l'étude ne présente pour l'heure pas le moindre symptôme. Preuve que des mécanismes de compensation sont à l'œuvre.

En quelques minutes, la tomographie à émission de positons (TEP ou PET scan) est désormais capable de livrer une image des agrégats de peptide A-bêta anormales accumulés dans le cerveau. Et ce grâce au développement de radiotraceurs comme le florbétapir qui a une bonne affinité pour cette protéine. C'est pourquoi cet examen a été retenu comme nouveau critère de diagnostic, en complément d'une analyse du liquide céphalorachidien et d'un examen neuropsychologique. Les études en TEP ont en effet montré que ces dépôts d'amyloïdes sont présents bien avant la survenue des premiers symptômes. Et que plus il y en a, plus le déclin de la mémoire et des fonctions cognitives est rapide. Ainsi, un scan « positif » – taux modéré à élevé de plaques – associé à des plaintes concernant les fonctions cognitives augmente la probabilité que le trouble soit bien dû à Alzheimer et non à d'autres troubles comme une attaque cérébrale, des désordres thyroïdiens, des interactions médicamenteuses, une dépression ou un alcoolisme chronique. Mais ces études ont aussi révélé une capacité jusqu'alors insoupçonnée du cerveau : celle de résister coûte que coûte à la maladie d'Alzheimer, et ce jusqu'à la dernière limite. Ainsi, 20 à 30 % des personnes ayant un cerveau amyloïde ne ressentent aucun trouble. Preuve que le cerveau, même agressé, peut se défendre. « *Le cerveau est un organe hautement dynamique et plastique capable de freiner le déclin par des mécanismes de compensation* », explique le neurologue Harald Hampel. Cette résilience cérébrale dépend des susceptibilités individuelles, de la réserve cérébrale et cognitive et de la bonne santé des neurones restants. Mais aussi des facteurs de risques et de protection présents chez le sujet.

Le mécanisme serait le suivant : le cerveau se chargerait en amyloïde pendant de longues années jusqu'à atteindre un plateau. Puis une protéine, nommée tau, pourrait alors être activée de manière anormale. Celle-ci enclencherait le processus de dégénérescence, la progression de la démence étant corrélée à son activité. Jusqu'au point de non-retour où la compensation cérébrale est débordée de manière inéluctable. Visualiser la pathologie tau permettrait donc un diagnostic plus précis. Le premier traceur de tau doit être testé par PET scan chez l'homme, cette année. ▶

Les espoirs de traitements

Empêcher la formation d'enzymes spécifiques, injecter des anticorps, bloquer le processus inflammatoire... La recherche progresse.

LES MÉDICAMENTS PRESCRITS AUJOURD'HUI contre les symptômes de la maladie d'Alzheimer sont des inhibiteurs de la cholinestérase (donépézil, galantamine, rivastigmine) qui augmentent le taux cérébral d'acétylcholine (neuromédiateur jouant un rôle dans la mémoire et diminuant avec la progression de la maladie). Et aussi la mémantine, qui réduit les effets du glutamate (neurotransmetteur excitateur), hyperstimulé chez les malades. Des méta-analyses (recoupement statistique de plusieurs études) ont montré une amélioration modeste mais significative de certains symptômes chez certains patients Alzheimer légers ou modérés traités par ces molécules (*Cochrane Database Syst. Rev.*, 2006). Ou encore une entrée en institution repoussée de 18 à 21 mois (Geldmacher D., *J. Am. ; Geriatr. Soc*, 2003). Mais ces traitements ne modifient pas l'évolution de la maladie.

Les recherches en cours portent, elles, sur des molécules qui bloqueraient le processus biologique à l'œuvre. C'est-à-dire l'accumulation dans le cerveau d'une protéine amyloïde anormale (le peptide A bêta) qui stimulerait l'action dévastatrice sur les neurones d'une autre protéine anormale, la tau phosphorylée (tau-p). Plusieurs ont été testées chez l'homme mais abandonnées en raison d'un manque d'efficacité ou du fait d'un excès d'effets secondaires. Certaines pistes demeurent toutefois prometteuses.

La voie enzymatique

L'idée est d'empêcher la production du peptide A bêta en inhibant les enzymes qui facilitent sa formation (bêta sécrétases, gamma sécrétase). Un inhibiteur de la bêta-sécrétase, le MK-8931 des laboratoires Merck, est actuellement en essai de phase III (étude EPOCH) chez 1960 patients prodromaux (présentant les premiers symptômes de la maladie), légers et modérés, pour des résultats attendus mi-2017. Avant lui, d'autres essais ont été stoppés par manque d'efficacité ou en raison d'effets secondaires trop nombreux.

L'immunothérapie anti-amyloïde

Parfois appelé le « vaccin » anti-Alzheimer, son principe consiste à injecter des anticorps monoclonaux dirigés contre le peptide A bêta, afin de provoquer une réponse immunitaire aboutissant à l'élimination des plaques amyloïdes. Un anticorps monoclonal, le solanezumab du laboratoire américain Eli Lilly, a produit un résultat encourageant. « *En 2012, l'essai de phase III a montré un gain de performances cognitives de 34 % chez les patients les plus "légers" ayant reçu le traitement, alors qu'il n'a eu aucun effet chez les patients "modérés"* », précise Francis Nyasse, coordinateur d'études cliniques à l'Institut de la mémoire et de la maladie d'Alzheimer, à Paris. Il est à présent évident pour les chercheurs que les immunothérapies doivent être administrées au stade le plus précoce possible. Un nouvel essai avec le solanezumab a donc été lancé sur 2100 patients atteints de formes débutantes de la maladie. Résultats attendus en 2017.

L e laboratoire tente d'agir encore plus tôt avec l'essai dit A4 (Anti-Amyloid treatment in Asymptomatic Alzheimer's disease) : le solanezumab sera donné pendant trois ans à des personnes de 65 à 85 ans sans symptômes, mais présentant des plaques amyloïdes. Deux autres études de prévention sont menées en parallèle. L'Alzheimer's Prevention Initia-

POUR EN SAVOIR PLUS

Livres

▸ *Alzheimer, que savoir ? que craindre ? qu'espérer ?* Bernard Croisile (Odile Jacob, 2014). Le neurologue spécialiste des troubles de la mémoire fait le point sur les dernières connaissances de manière très pédagogique en apportant un éclairage nouveau et bienveillant sur la maladie.

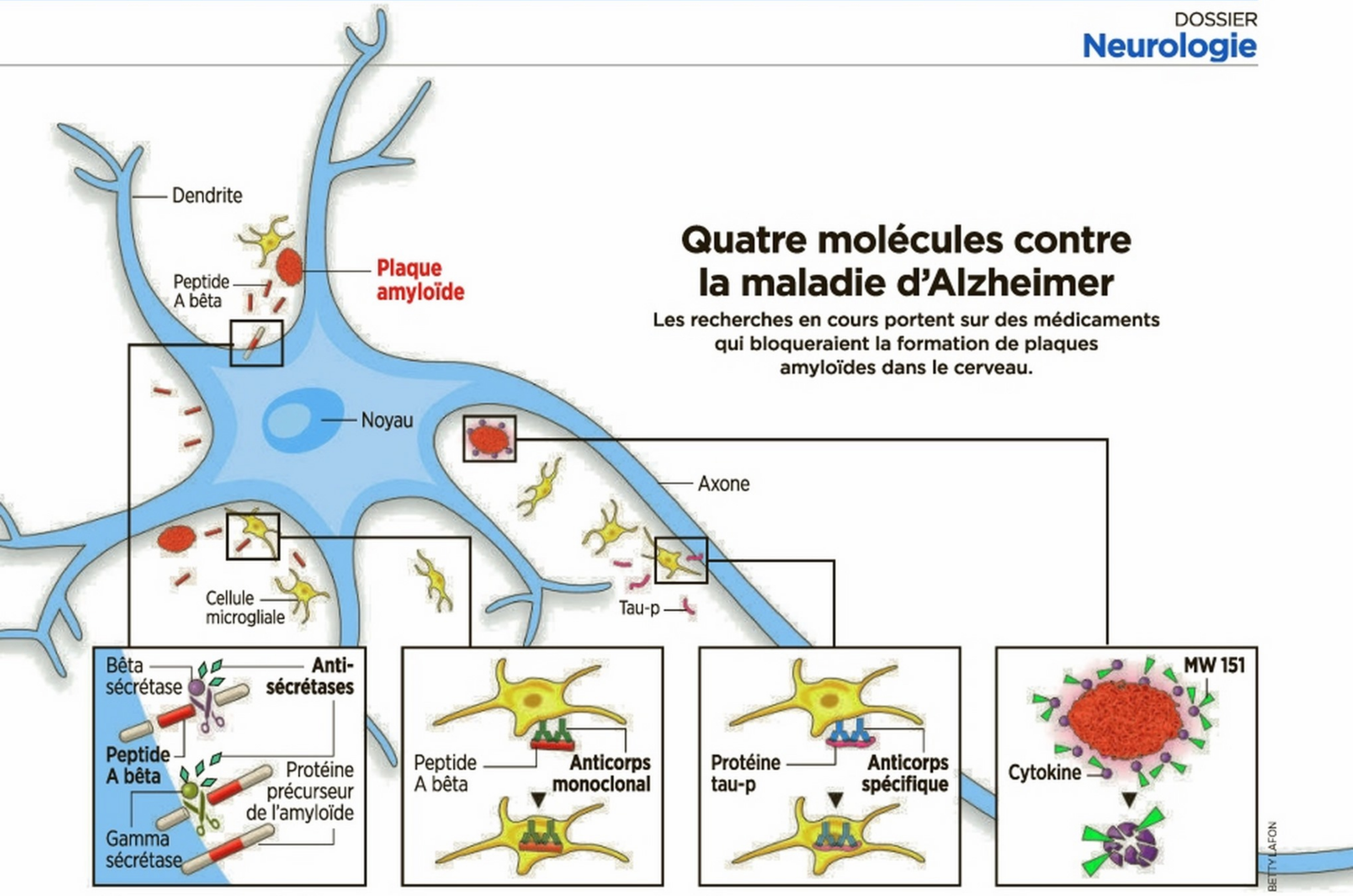
▸ *Faire Face à la maladie d'Alzheimer*, Henryka Lesniewska (éditions Retz, 2014). Un véritable mode d'emploi, mode de vie pour prévenir, surmonter et ralentir les symptômes.

DVD

▸ *Ne m'oublie pas*, documentaire de David Sieveking. Le récit bouleversant d'un couple touché par la maladie. Critique sur sciav.fr/812sieveking

Quatre molécules contre la maladie d'Alzheimer

Les recherches en cours portent sur des médicaments qui bloqueraient la formation de plaques amyloïdes dans le cerveau.



❶ L'ENZYME ANTI-SÉCRÉTASES

Elle inhibe d'autres enzymes (bêta sécrétase et gamma sécrétase) qui favorisent la production de la plaque amyloïde.

❷ L'ANTICORPS MONOCLONAL

Il s'attaque aux peptides A bêta et active les cellules microgliales « nettoyeuses » du cerveau.

❸ L'ANTI-TAU

Il s'attaque à la protéine tau-p qui tue les neurones et active les cellules microgliales « nettoyeuses ».

❹ LA MW 151 ANTI-INFLAMMATOIRE

Elle bloque les cytokines, molécules inflammatoires toxiques.

tive (API), traite par le crenezumab une famille colombienne atteinte de la forme héréditaire. La Dominantly Inherited Alzheimer's Network (DIAN) verra des familles ayant hérité d'un gène de prédisposition bénéficier d'une immunothérapie pendant plusieurs années.

Un « vaccin » anti-tau

La tau-p conduit à la désintégration des microtubules des neurones *(voir l'infographie p. 33)*. Le premier essai de phase I d'un « vaccin » anti-tau chez l'homme, l'ACI-35 d'AC-Immune en partenariat avec Genentech, a été lancé en janvier. Il vise à stimuler la production d'anticorps spécifiques contre la tau-p. Par ailleurs, le Rember, un anti-tau du laboratoire Therapeutics Ltd qui avait fait l'objet d'un essai en 2010, est soumis à nouvel essai depuis fin 2013. Et la FKBP52, une protéine cérébrale qui empêcherait l'altération de la protéine tau, découverte en 2010 par l'équipe Inserm du Pr Baulieu est toujours à l'étude.

La piste des anti-inflammatoires

Des études ont montré que des processus anti-inflammatoires se produisent autour des plaques amyloïdes, aussi des recherches visent-elles à les bloquer. Un anti-inflammatoire, le MW-151, a permis de réduire les pertes synaptiques chez les souris ainsi que la production en cytokines (molécules de l'inflammation) d'après une étude de l'université du Kentucky (États-Unis).

Les thérapies non médicamenteuses

Une nouvelle approche, celle des interventions cognitives, peut soutenir la prévention et aussi le traitement d'Alzheimer. « *De récentes recherches suggèrent que l'activation systématique de réseaux cérébraux variés par stimulation cognitive et/ou physique peut contribuer significativement à la santé cérébrale et à l'état cognitif. Ils sont moins coûteux et sans effets secondaires* », note Harald Hampel, neurologue allemand (*Nat. Rev. Neurology*, 2010) *(lire aussi p. 38)*. ■

À la chasse aux bulles cosmiques

50 000 amateurs traquent sur des images de la Voie lactée des sphères gazeuses qui peuvent déclencher la formation d'étoiles. Une aide précieuse pour les astronomes.

Par Jean-François Haït

« SUR CETTE IMAGE, JE VOIS QUELQUE CHOSE *qui me paraît un peu trop brillant pour être une bulle. Qu'en pensez-vous ?* », interroge un certain Keith Edkins sur le forum Internet. « *Non, c'est bien une bulle. Son étoile centrale est si brillante qu'elle éclaire sa périphérie avec une intensité inhabituelle* », lui répond alors l'astrophysicien Bob Benjamin. « *C'est une bulle magnifique ! Belle trouvaille, Keith !* », renchérit sa collègue Rachael Beaton. Keith Edkins est l'un des quelque 50 000 amateurs enthousiastes qui participent au Milky Way Project (« projet Voie lactée »). Cette vaste initiative, lancée en 2010 par une équipe de l'université d'Oxford (Royaume-Uni), touche aujourd'hui à sa fin, prévue d'ici à décembre prochain

La mission de ces internautes passionnés venus de tous les horizons : chercher bénévolement, sur des images astronomiques mises en ligne sur un site Web spécial, des « bulles » qui se forment dans notre galaxie. Ces bulles sont engendrées par l'action de certaines étoiles jeunes et massives qui, en émettant un fort rayonnement ultraviolet, soufflent le gaz d'hydrogène environnant, créant ainsi ces formes plus ou moins sphériques. Celles-ci, de taille variable, se comptent par millions dans la Voie lactée, une bulle « standard » *(voir l'illustration p. 44)* ayant peu ou prou les dimensions de notre système solaire. Et si les chercheurs les traquent avec tant d'intérêt, c'est qu'elles apportent de précieux renseignements sur la naissance même des étoiles.

Une tâche gigantesque à accomplir

Les astrophysiciens américains Bruce Elmegreen et Charles Lada (observatoire du Harvard College-Smithsonian, Cambridge, États-Unis), qui ont théorisé la formation de ces bulles en 1977, ont en effet démontré que de nouvelles étoiles pouvaient se former à leur périphérie *(voir l'infographie p. 43)*.

Depuis, les scientifiques n'ont de cesse de vérifier *de visu* cette théorie et de déterminer si le phénomène est généralisé. D'où la nécessité de repérer le plus grand nombre possible de bulles sur les clichés disponibles. « *Mais c'était une entreprise beaucoup trop longue et coûteuse pour notre petite équipe de chercheurs. C'est pourquoi nous avons eu l'idée de lancer ce projet* », explique aujourd'hui Robert Simpson, de l'université d'Oxford, ravi d'avoir enrôlé des « *citoyens scientifiques* » — comme il les appelle — pour accomplir cette tâche gigantesque.

2005
Premières découvertes de formation d'étoiles dans les bulles

1,2 million
d'images déjà analysées

Fin 2014
Le Milky Way Project arrive à son terme.

Avec succès : à la fin du mois de juillet, plus de 415 000 bulles avaient été identifiées. Et un catalogue de plus de 5 000 d'entre elles, précisément caractérisées à partir des observations faites entre 2010 et 2011, a d'ores et déjà pu être établi et a fait l'objet d'une publication par Robert Simpson et sa collègue Sarah Kendrew (1). Les deux chercheurs y concluent à une densité d'étoiles supérieure à la moyenne dans la périphérie de la plupart des bulles répertoriées et confortent ainsi l'hypothèse qu'elles sont bien le siège d'une formation stellaire.

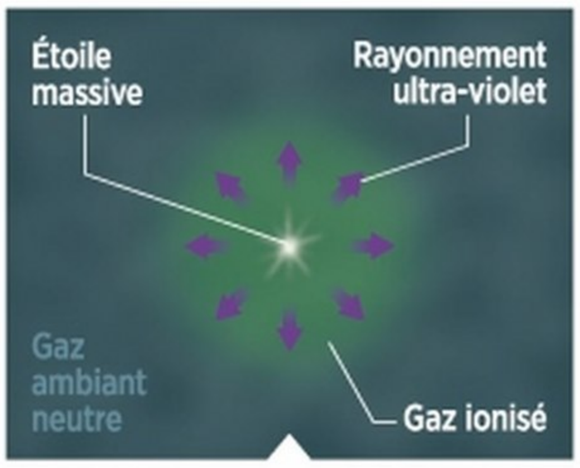
Le principe du Milky Way Project est simple, comme tous les projets dits de science participative qui ont actuellement le vent en poupe, notamment en astronomie avec Seti@Home ou Galaxy Zoo *(lire l'encadré p. 45)* : il s'agit en l'occurrence pour les participants de scruter attentivement des images du télescope spatial Spitzer (2) de la Nasa mises en ligne par les administrateurs du site. Au nombre de 440 000, elles couvrent une partie du plan de la Voie lactée, cette région riche en étoiles jeunes et en amas d'étoiles qui borde l'équateur de notre galaxie. Ces images ont été prises dans le domaine de l'infrarouge, une longueur d'onde qui révèle les gaz, les poussières interstel- ▶

La nébuleuse Trifide, un nuage géant de gaz et de poussières où naissent de nombreuses étoiles, est l'une des zones du ciel qui ont été soumises à l'observation des internautes.

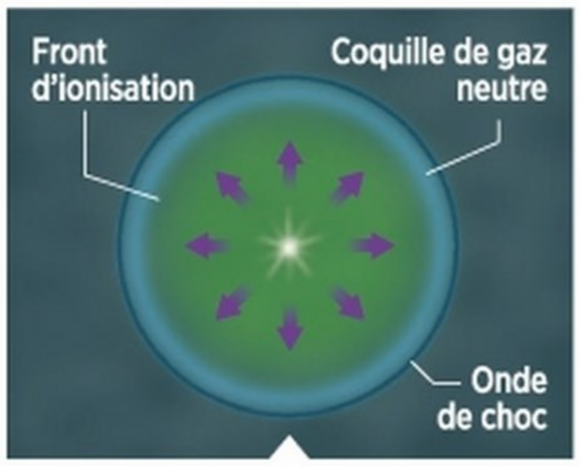
NASA/JPL-CALTECH/J. RHO (SSC/CALTECH)

ASTROPHYSIQUE

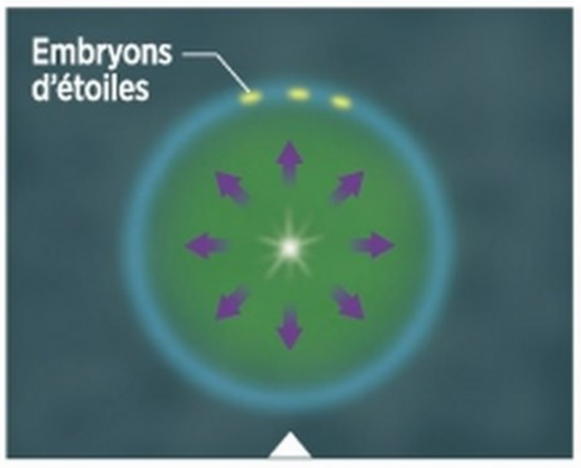
La formation d'une bulle



1. Une jeune étoile massive (8 masses solaires au moins) émet un fort rayonnement ultraviolet qui arrache des électrons à l'hydrogène neutre environnant et l'ionise.

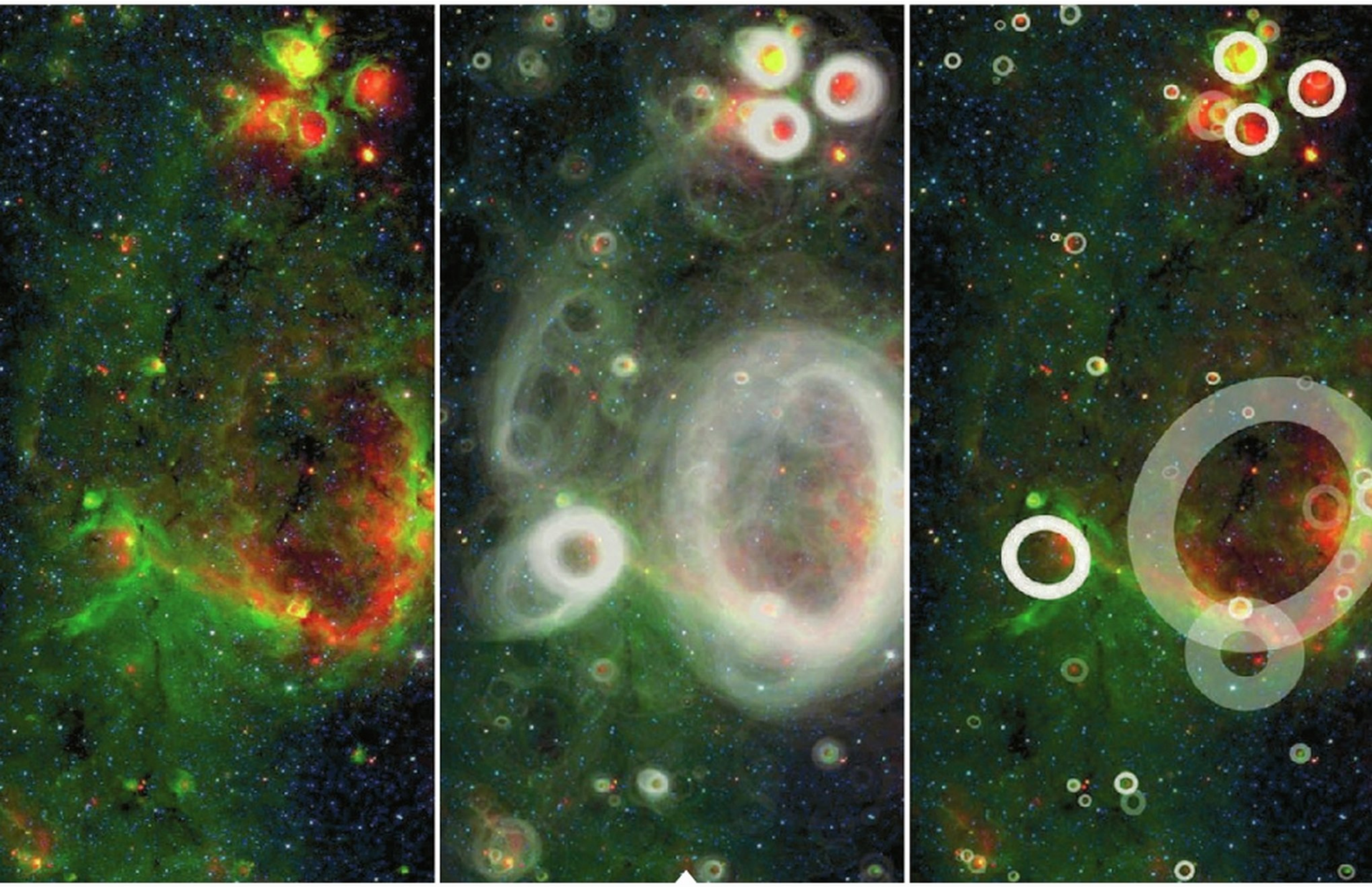


2. Le gaz ionisé en expansion crée une onde de choc au contact du milieu environnant. Elle est suivie d'une onde d'ionisation. Du gaz neutre est pris entre les deux. Après quelques millions d'années, la pression du gaz ionisé s'équilibre avec celle du milieu environnant. Une bulle s'est formée.



3. Sous l'action de son propre poids, la paroi de la bulle (la coquille) s'effondre sur elle-même. Le gaz qu'elle contient se condense. De nouvelles étoiles commencent à se former.

INFOGRAPHIES: BETTY LAFON



À partir d'un cliché brut du télescope Spitzer (à gauche), plusieurs internautes se mettent au travail et délimitent les zones qui leur semblent intéressantes (au centre). Pour finir, les chercheurs trient parmi ces propositions et affinent les observations (à droite).

laires et nombre de structures dont ces fameuses bulles. Après une rapide initiation à l'aide d'un « tutoriel », le volontaire se voit attribuer automatiquement une image et peut commencer à l'analyser. Dès lors qu'il a repéré une bulle, sa mission consiste simplement à la délimiter grâce à son pointeur de souris en ajustant une ellipse à son contour. Il peut travailler à son rythme, sans contrainte de résultat ni de temps et, en cas de doute, prendre conseil auprès de scientifiques ou de membres plus aguerris sur le forum Internet du projet. Plus de 1,2 million d'images ont ainsi déjà été analysées fin juillet, une même image étant attribuée à plusieurs participants pour limiter le risque d'erreur.

Lorsque le projet Milky Way sera clos, dans quelques semaines, le travail des chercheurs n'en sera pas terminé pour autant. D'autres observations, dans des longueurs d'onde différentes, seront nécessaires pour distinguer les étoiles qui appartiennent à la bulle de celles qui pourraient se former à proximité par un mécanisme différent. Sans compter que les internautes ont ouvert spontanément une autre piste de recherche. Certains d'entre eux ont en effet repéré des objets sphériques compacts dont ils ont abondamment débattu sur le forum, et qu'ils ont baptisés « *yellowballs* » en raison de leur couleur jaune. Les scientifiques du projet les ont depuis identifiés comme des bulles aux tout premiers stades de leur formation. « *Il y en a des centaines ! Nous allons les observer dans d'autres longueurs d'onde avec des télescopes au sol pour mieux comprendre ce qui s'y passe* », explique ainsi Robert Simpson.

Le chercheur d'Oxford souligne que cette découverte est un bon exemple de « sérendipité » — un mot synonyme d'heureux hasard en recherche scientifique —, qui survient régulièrement dans les projets de science participative

NASA/JPL-CALTECH/R.SIMPSON (OXFORD UNIVERSITY)

lorsque ceux-ci parviennent à rassembler un grand nombre de personnes. Une force numérique que l'équipe du projet met en outre à profit depuis fin 2013 pour trouver de nouveaux objets : des amas d'étoiles, qui pourraient résulter de la formation d'étoiles induite par les bulles, ou encore des EGO (acronyme anglais pour « objet vert étendu »).

Des chercheurs craignent des biais d'observation

Ces objets diffus, souvent détectés non loin des bulles, seraient des flots de gaz éjectés par des étoiles en cours de formation. Ils sont repérables par leur couleur verte, non naturelle, qui résulte du traitement des images de Spitzer. Le recours aux citoyens scientifiques serait-il donc la solution miracle dès lors que de grosses quantités de données sont en jeu ? Pas si sûr. « *Beaucoup de chercheurs sont opposés à ce genre de projet car ils considèrent que les observations des participants sont biaisées*, souligne Annie Zavagno, directrice adjointe du Laboratoire d'astrophysique de Marseille et spécialiste de la formation stellaire. *Je considère quant à moi que le catalogue du Milky Way Project est une bonne base de travail, mais qu'il faut l'utiliser avec précaution.* » Robert Simpson en a bien conscience lorsqu'il explique, par exemple, le biais dit du voisin brillant : lorsqu'un internaute détecte une bulle très nette, il a tendance à ne pas remarquer celle, plus pâle et diffuse, située à proximité. « *Or beaucoup de phénomènes intéressants peuvent se cacher dans des zones de l'image pas forcément bien perçues par les participants* », souligne Annie Zavagno. Pour pallier cet inconvénient, les chercheurs ont donc décidé d'avoir également recours au traitement numérique des images, l'ordinateur étant insensible à l'esthétique ! Des programmes informatiques de reconnaissance de bulles sont en cours de développement à Oxford, ainsi que dans le laboratoire d'Annie Zavagno. Ils seront notamment mis en œuvre pour « rescanner » les images et détecter les bulles qui auraient pu échapper aux observateurs humains. Ces derniers restent cependant indispensables, l'œil humain battant encore la machine pour la reconnaissance des formes complexes.

COURTESY A. ZAVAGNO

« Le catalogue du Milky Way Project est une bonne base de travail, mais qu'il faut utiliser avec précaution »

Annie Zavagno, directrice adjointe du Laboratoire d'astrophysique de Marseille

SCIENCE PARTICIPATIVE

L'astronomie pionnière dans le recours aux « citoyens scientifiques »

Un sujet « excitant » et un site Web ludique. Voilà le secret d'un bon projet de science participative. Dans ce domaine, l'astronomie a été pionnière. Depuis 1999, le programme Seti propose ainsi aux internautes d'offrir un peu de temps de calcul de leur ordinateur afin de détecter un éventuel signal radio extraterrestre dans les montagnes de données issues du grand radiotélescope d'Arecibo (Porto Rico). Bien qu'aucun signal n'ait été détecté jusqu'à présent, le succès populaire est immense, même si le rôle des participants reste passif. Ce qui n'est pas le cas dans le projet Galaxy Zoo, lancé en 2007, qui invite les internautes à classer des galaxies pour permettre aux chercheurs d'établir des statistiques. Le site a enregistré en quelques mois des millions de connexions et donné naissance à Zooniverse (www.zooniverse.org), un portail de programmes participatifs auquel appartient le Milky Way Project. On peut y chercher des exoplanètes, explorer la surface de la Lune, ou pister les éruptions solaires. Plus proche, le projet français Vigie Ciel (http://ceres.geol.u-psud.fr/fripon) *(lire* S. et A. *n° 807, mai 2014)* invite le public à ratisser le terrain pour retrouver les météorites tombées sur Terre.

POUR EN SAVOIR PLUS

www.milkywayproject.org
Le site est décliné en anglais, espagnol, allemand, français, indonésien, polonais et danois.

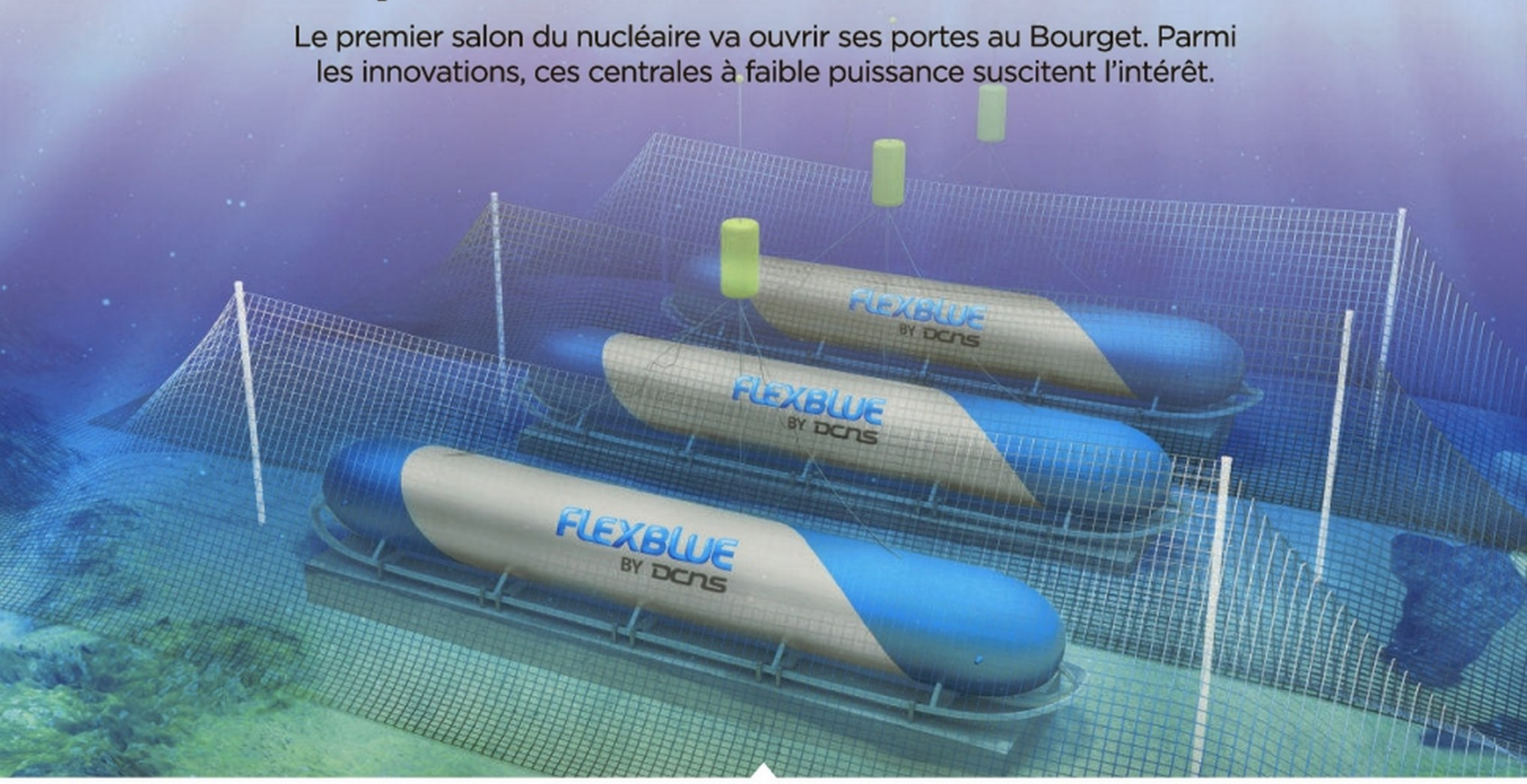
Forte de son succès, l'équipe d'Oxford envisage de lancer un projet similaire avec les données recueillies par le télescope spatial Herschel de l'Agence spatiale européenne, resté opérationnel de 2009 à 2013. Beaucoup plus sensible que Spitzer et couvrant une plage beaucoup plus grande de longueurs d'ondes dans l'infrarouge, il a livré des observations qui permettront d'accéder aux phases les plus précoces de la formation des étoiles. L'équipe voudrait engager les citoyens scientifiques dans la cartographie fine des régions de formation stellaire. « *Le Milky Way Project a suscité un tel engouement dans le monde anglo-saxon qu'il serait souhaitable de lancer un projet comparable en France*, estime Annie Zavagno. *Car l'accès à la science ne doit pas être réservé à une élite.* » ■

(1) *Astrophysical Journal*, volume 755, n° 1, juillet 2012

(2) Spitzer a été lancé en 2003. Parce qu'il était destiné à observer dans l'infrarouge, la plupart de ses instruments étaient refroidis. Arrivé à court de réfrigérant en 2009, le télescope poursuit depuis sa mission avec un seul instrument opérationnel.

Les petits réacteurs, une autre voie pour l'industrie nucléaire

Le premier salon du nucléaire va ouvrir ses portes au Bourget. Parmi les innovations, ces centrales à faible puissance suscitent l'intérêt.



Le projet français Flexblue repose sur des réacteurs cylindriques de 100 m de long sur 15 m de diamètre, immergés à 100 m de profondeur.

LA RENTRÉE EST CHARGÉE pour les acteurs du nucléaire. Tous attendent avec un mélange de curiosité et d'excitation le World Nuclear Exhibition (WNE), premier salon du nucléaire qui se tiendra mi-octobre au Bourget, dans la banlieue nord de Paris. Il devrait déterminer les tendances des prochaines décennies en matière d'équipements et indiquer la plus ou moins bonne santé des multinationales du secteur. D'où la volonté des intervenants d'y briller par le nombre de contrats raflés. Inspiré du fameux Salon de l'aéronautique et de l'espace du Bourget, on y discutera EPR (le réacteur pressurisé européen), enrichissement, déchets, retraitement ou démantèlement, mais la palme de l'innovation devrait revenir aux réacteurs « mini et modulables », baptisés SMR pour « Small Modular Reactor ». Mini — c'est-à-dire moins de 300 mégawatts (MW) là où le maxi EPR doit en produire 1 650, et modulable comme un jeu de Lego, avec la possibilité de commencer par une seule unité et d'en rajouter, au gré des besoins, sur terre, au fond de la mer, sur une barge... Une configuration que Bruno Tertrais, de la Fondation pour la recherche stratégique estime peu « *proliférante* » et de peu de danger face au terrorisme : « *Le risque est quasi nul, chaque unité comporte peu de combustible et elle est difficilement localisable, ce qui limite les risques.* » En revanche, reconnaît-il, « *l'immersion du combustible nucléaire fait peur au public* ».

Pour l'heure, ces SMR fonctionnent à merveille... sur le papier. Car la filière nucléaire civile a misé historiquement sur des réacteurs (et des centrales) de plus en plus puissants, bien plus rentables. Depuis son développement au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, cette puissance a triplé, de 500 à 1500 MW. « *Passer d'une tranche de 600 MW à une tranche de 1000 MW n'entraîne un surcoût d'investissement que de 15 % alors que le gain en puissance est de 85 %* », a calculé Bernard Bonin, directeur scienti-

DCNS

fique adjoint du département de l'énergie nucléaire au Commissariat à l'énergie atomique (CEA). Il est donc logique que les grandes puissances nucléaires se soient équipées de gros réacteurs.

Mais le futur se joue ailleurs : selon l'Agence internationale de l'énergie, d'ici à 2035, les pays en dehors de l'OCDE vont alimenter plus de 90 % de la croissance pour ce qui concerne la demande en énergie (+36 % par rapport à aujourd'hui). Avec une hausse prévue de leur capacité électronucléaire entre 23 et 100 %, selon le scénario retenu. C'est là que se dessine un marché de niche pour les réacteurs SMR. « *Pour une zone difficile d'accès, ou l'alimentation d'une industrie vorace en énergie, par exemple une plateforme pétrolière, la désalinisation de l'eau de mer, ou encore pour les besoins d'une petite ville isolée dans un pays où le réseau électrique est faible…* », explique Jean-Louis Bobin, physicien et professeur à l'université Pierre-et-Marie Curie (Paris). Autre facteur d'attraction : la fabrication en série des modules de SMR devrait encore abaisser leur coût.

> « Les SMR sont adaptés aux zones difficiles d'accès ou aux sites industriels voraces en énergie »
>
> **Jean-Louis Bobin,** physicien et professeur à l'université Pierre-et Marie-Curie, à Paris

La perspective de ce nouveau marché suscite un fort intérêt depuis environ dix ans : États-Unis, Russie, Japon, Chine, Corée du Sud, tous ont planché sur la question, pour aboutir à des propositions très diverses. De leur côté, les poids lourds du nucléaire français ont formé en 2011 le consortium SMR, qui regroupe Areva, EDF, CEA, DCNS. « *Sa première mission a été d'étudier le marché,* explique Christophe Béhar, vice-président de la Société française d'énergie nucléaire (SFEN). *Verdict : les SMR ont un intérêt commercial, à condition que le coût du mégawattheure produit ne dépasse pas trop celui de la filière classique.* » En clair, s'il n'excède pas 100 €, quand le coût de production « classique » devrait passer de 49,50 €/MWh (en 2010) à 54,2€/MWh en 2025 (en euros constants), selon les calculs de la Cour des comptes (rapport sur le coût de l'électricité nucléaire, paru en mai).

Pareille contrainte impose d'étudier avec minutie le design de ces futurs réacteurs. Deux options sont retenues par le consortium français : des centrales à terre ou semi-enterrées de deux à quatre unités de 150 MW chacune, alimentant une chaudière, et des centrales immergées. Ces deux variantes misent sur la filière habituelle à eau pressurisée (REP), technique utilisée par les 58 réacteurs du parc français actuel. Du très classique, dont la miniaturisation est toujours à l'étude.

En janvier 2011, deux mois avant la catrastrophe de Fukushima, c'est la DCNS (ancienne Direction des constructions navales) qui avait créé la surprise en dévoilant le projet Flexblue, annonçant une mise en service en 2017. En l'occurrence, un réacteur cylindrique de 100 mètres de long et 15 mètres de large, immergé à cent mètres de profondeur et relié à terre par des câbles électriques. Et l'entreprise des chantiers navals, forte de son savoir-faire en matière de réacteurs de sous-marins, de proposer un parc formé de plusieurs unités. Le tout livré clés en main par une barge tandis que la maintenance — une fois tous les soixante ans pour décharger le combustible usagé — s'effectuerait à terre. L'échéance, on s'en doute, a été repoussée, et aucun ▶

COMPARAISON

Adapter la puissance aux besoins

1650 MW
Une centrale de type EPR (comme à Flamanville) pourra alimenter 275 000 foyers*.

900 MW
Une centrale «classique» (de type Tricastin) fournit 150 000 foyers.

120 MW
Une petite centrale (de type SMR) suffit à 20000 foyers.

* La puissance consommée par un foyer dans une ville est de 6 kW.

PROJECTION

Les principaux acteurs du marché des petits réacteurs

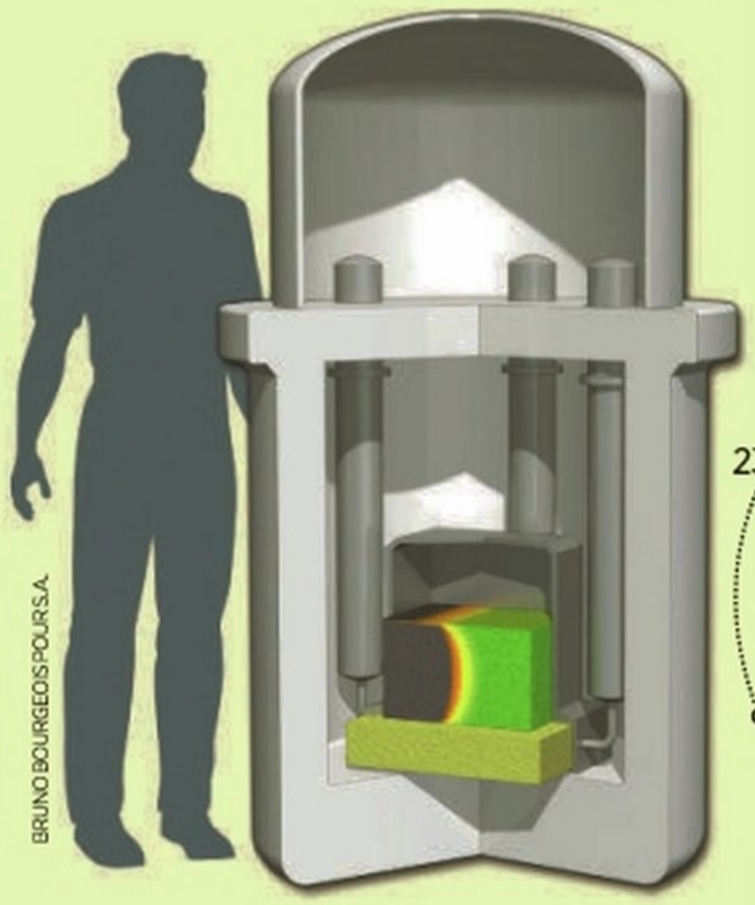
(moins de 300 MW)

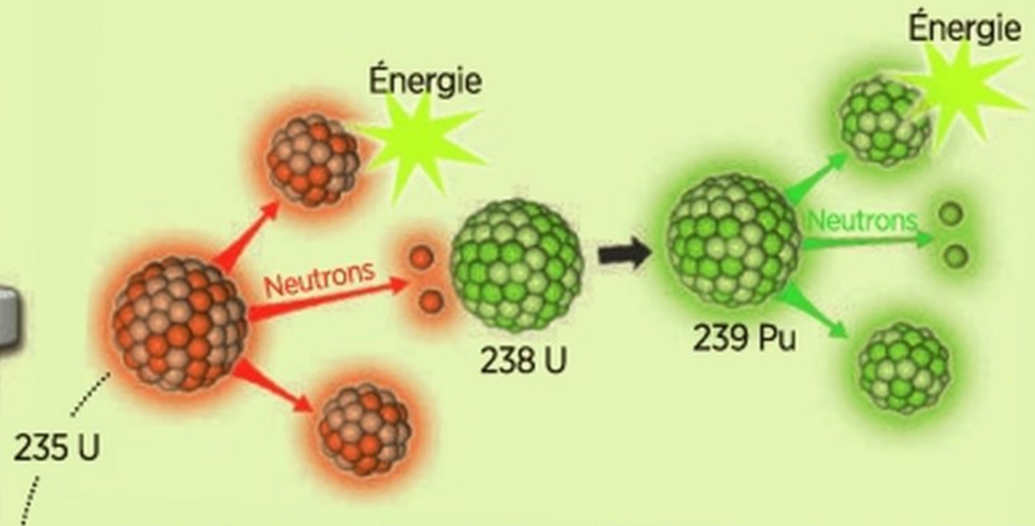
ÉTATS-UNIS	
GE S-Prism	300 MW*
Westinghouse AP200	200 MW
B&W mPower	180 MW
Nu Scale	45 MW
Hyperion	25 MW*
CHINE	
NPIC CAC-100	100-150 MW
Chinergy HTR-PM	100 MW
RUSSIE	
SBVR100	75-100 MW*
Rosatom KLT40	35 MW
JAPON	
Toshiba 4S	30 MW*
COREE-DU-SUD	
Kaeri Smart	100 MW
ARGENTINE	
Invap Carem	30 MW
FRANCE	
Flexblue	150-170 MW

* Projets au stade exploratoire (à plus de dix ans de la mise sur le marché). (Source Areva.)

LE PROJET TERRA POWER DE BILL GATES

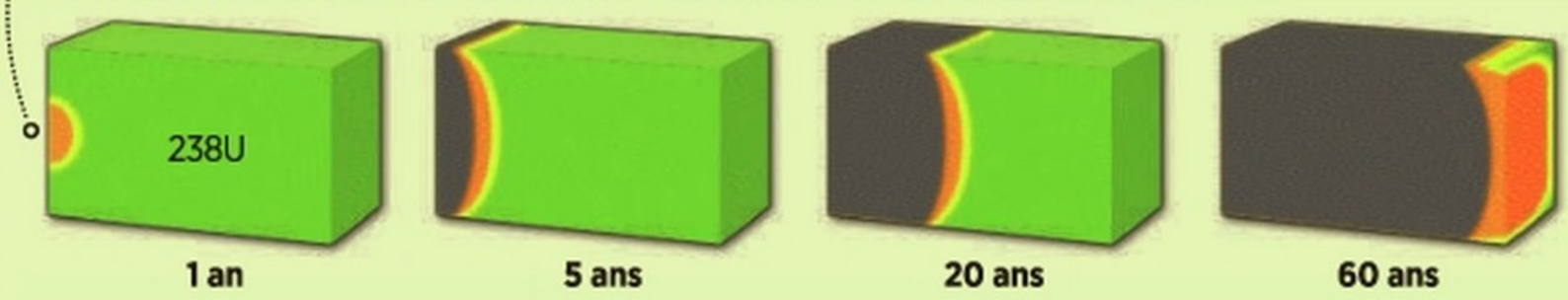
Un mini-réacteur autonome sans maintenance





L'uranium 235 (235U) sert à amorcer la combustion.
Il se désintègre en deux noyaux et expulse deux neutrons qui cognent contre les noyaux d'uranium 238 (238 U), qui constitue l'essentiel du combustible du réacteur. Le noyau de 238U se transforme en plutonium 239 (239 Pu) qui, à son tour, se divise en deux noyaux et produit de l'énergie.

UN PROCÉDÉ QUI FOURNIT DE L'ÉNERGIE SUR PLUSIEURS DIZAINES D'ANNÉES



Quand il verra le jour, Terra Power devrait être le *nec plus ultra* des petits réacteurs : une fois livré, il devrait fonctionner de 60 à 90 ans en continu sans maintenance et générer très peu de déchets. En outre, il fera l'économie de l'étape d'enrichissement de l'uranium 238 en son isotope 235. Ce beau scénario est encore dans les cartons de la start-up fondée par Bill Gates, Intellectual Ventures. Son principe : le réacteur à onde progressive (TWR, pour « Traveling Wave Reactor »). « Progressive » parce que les réactions de fission se propagent tout au long du combustible constitué d'uranium appauvri, essentiellement de l'uranium 238 (238U), faiblement radioactif, abondant et bon marché. Son avantage : il ne fait appel qu'à une très faible quantité d'uranium 235 (235U) uniquement pour amorcer la combustion. Le 235U est fissile : chaque noyau donne naissance spontanément à deux noyaux plus légers qui génèrent une grande quantité d'énergie. Deux à trois neutrons sont aussi expulsés : ils percutent les noyaux de 238U qui forment l'intégralité du combustible. Ceux-ci se transforment en plutonium 239, (239Pu), fissile lui aussi, qui à son tour se divise spontanément en deux noyaux plus légers, de l'énergie, et des neutrons qui iront à leur tour cogner les noyaux de 238 U de proche en proche. Ainsi le combustible devient fissile au sein même du réacteur.

SMR, au final, ne devrait produire son premier kilowattheure avant 2020-2025 au mieux.
La Russie fait exception. Dès 2010, elle a embarqué une centrale nucléaire flottante — dont la puissance la place dans la catégorie des SMR — à bord de la barge *Akademik Lomonossov* amarrée au Kamtchatka *(lire* S. et A. *n° 752, octobre 2009)*. Partout ailleurs, se poursuivent les études ou la construction de prototypes. En Corée, le Smart (System-integrated Modular Advanced Reactor) adopte la classique filière à eau pressurisée pour une puissance de 110 MW. Quant au 4S (pour Super-Safe, Small and Simple) du japonais Toshiba, d'une puissance de 30 MW, il fait appel à la technologie sodium (pour le refroidissement du combustible) des réacteurs à neutrons rapides, *« des neutrons très énergétiques »*, rappelle Christophe Béhar. La durée du cycle *« est de plusieurs dizaines d'années (environ trente ans)*, explique-t-il, *ce qui crée des problèmes techniques au niveau des matériaux qui constituent le réacteur et la pompe de circulation du fluide caloporteur. »* Malgré ces difficultés, les carnets de commandes à l'horizon 2020 se remplissent. Reste un projet autrement plus ambitieux dont personne ne s'aventure à donner l'échéance : le Terra Power américain défendu par Bill Gates *(lire l'encadré ci-dessus)*. Un rendez-vous pour les salons WNE ultérieurs, qui devraient se tenir tous les deux ans à Paris. ■ **Azar Khalatbari**

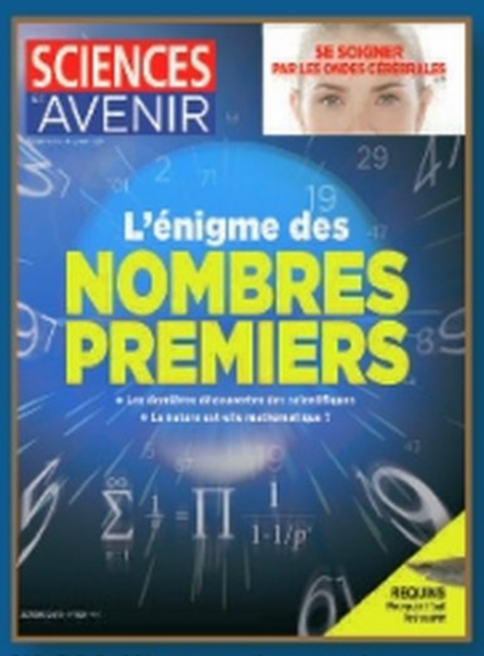
FONDATION POUR LA RECHERCHE STRATÉGIQUE

« Chaque unité est difficilement localisable, ce qui limite le risque terroriste »

Bruno Tertrais, maître de recherche à la Fondation pour la recherche stratégique

Une formidable diversité

12 fois par an, l'actualité des savoirs pour tous



N° 800 L'énigme des nombres premiers

N° 801
Spécial high-tech

N° 802 Mal de dos, les meilleurs soins

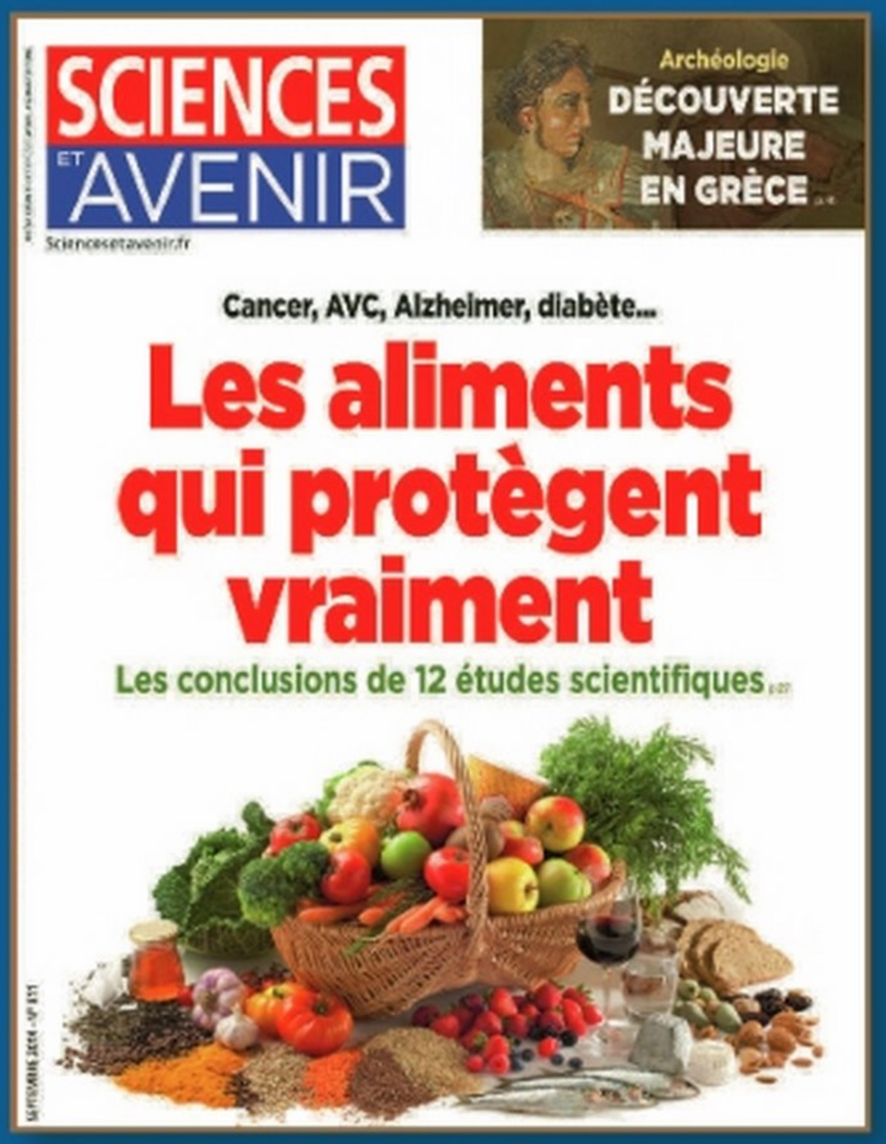
N° 803 Nous découvrons l'infini

N° 804 Sommeil, les dernières découvertes

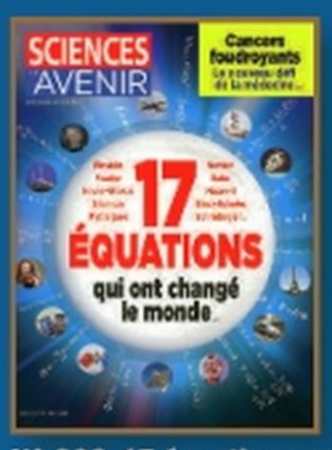
N° 805
Le guide hôpitaux

N° 806 La preuve du Big Bang

N° 807 Allergies, les meilleurs traitements



N° 811 Les aliments qui protègent vraiment



N° 808 17 équations qui ont changé le monde

N° 809
Soleil et santé

N° 810
Dieu et l'Univers

Et les hors-séries

HS n° 171
L'animal et nous

HS n° 172
La science à la conquête des 4 éléments

HS n° 1783
Les origines de nos croyances

HS n° 174
Bien manger. La santé par le naturel

HS n° 175
La vie extraordinaire des abeilles

HS n° 176
Ce qu'il faut savoir. L'essentiel de la science

HS n° 177
Ce que savaient les civilisations disparues

HS n° 178
La France des lieux maudits

Bon de commande

Je commande les numéros ci-après au prix de : **7 €** par numéro payable par chèque à l'ordre de Sciences et Avenir (port compris pour la France). Bon de commande à retourner à :

Sciences et Avenir
33, rue Vivienne, 75002 Paris.

- ❑ N° 800 ❑ N° 801 ❑ N° 802 ❑ N° 803
- ❑ N° 804 ❑ N° 805 ❑ N° 806 ❑ N° 807
- ❑ N° 808 ❑ N° 809 ❑ N° 810 ❑ N° 811

- ❑ HS N°171 ❑ HS N°172
- ❑ HS N°173 ❑ HS N°174
- ❑ HS N°175 ❑ HS N°176
- ❑ HS N°177 ❑ HS N°178

❑ **Commandez une reliure pour 12 numéros : 15 €**

Nom : . . . . . .

Adresse : . . . . . .

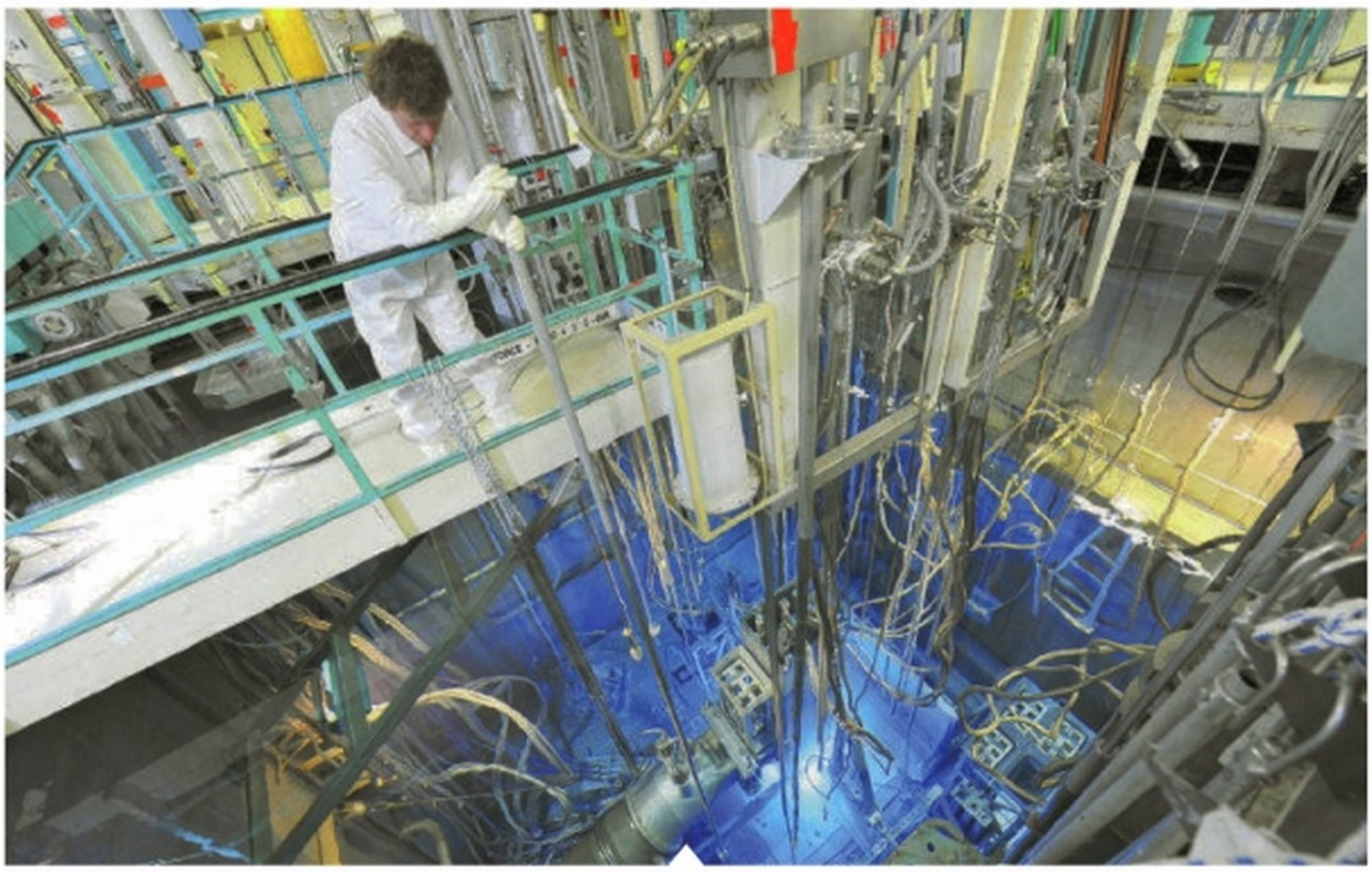
. . . . . Ville : . . . . . .

Code postal : . . . . . .

Menace de pénurie sur l'imagerie médicale

L'arrêt définitif du réacteur français Osiris début 2015 va perturber la production de technétium, un radio-élément indispensable aux examens scintigraphiques.

C'EST UN IMBROGLIO dans le domaine du nucléaire qui pourrait être préjudiciable, dans les prochains mois, aux patients ayant besoin d'examens médicaux. Le 4 août, en effet, le sort d'Osiris a été définitivement scellé : l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a ordonné la fermeture, début 2015, de ce réacteur situé à Saclay (Essonne) et destiné à la production de radio-isotopes pour la santé. Une décision prise malgré la mise en garde de l'Académie nationale de médecine. « *Nous risquons une pénurie grave de technétium, un élément utilisé dans 80 % des examens de scintigraphie* [exploration des organes en y faisant pénétrer des élements radioactifs], explique André Aurengo, chef du service de médecine nucléaire à la Pitié-Salpêtrière. *En tout, plus de 800 000 examens* par *an nécessitent du technétium* [Tc]. *Nous effectuons chaque année 495 000 scintigraphies osseuses, la plupart pour des bilans de cancers du sein et de la prostate.* » Osiris couvre 10 à 12 % de la demande européenne en molybdène 99 — qui se transforme aussitôt en ^{99m}Tc. Ailleurs, le réacteur belge BR2 (15 % de la demande), en maintenance pour 18 mois, ainsi que le néerlandais HFR (75 % de la demande), encore plus âgé qu'Osiris, ne peuvent couvrir les besoins de toute l'Europe. Plusieurs raisons à cette situation D'abord, la construction à Cadarache (Bouches-du-Rhône) du réacteur Jules-Horowitz, plus puissant et performant, a pris du retard ; prévu pour cette année, il ne sera livré, au mieux, qu'en 2018. Sans ce délai, on n'aurait pas manqué de radio-isotopes.

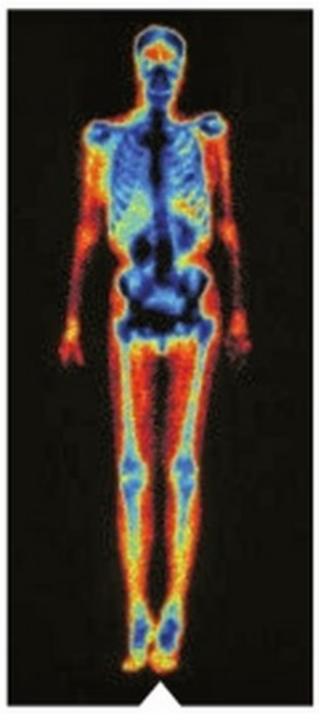


PATRICK ALLARD/REA

Osiris, installé à Saclay (Essonne), assure 10 à 12 % de la demande européenne de technétium.

Le CEA a reculé devant les mises aux normes exigées

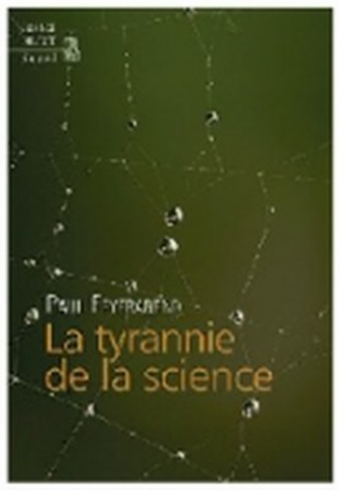
Ensuite, après l'accident de Fukushima, au Japon, l'ASN a édicté des normes plus strictes pour tout le parc nucléaire français, y compris les réacteurs de recherche, pourtant bien moins puissants que ceux des centrales productrices d'électricité. « *L'ASN impose le même niveau de résistance aux chutes d'avion à Osiris, qui a une puissance de 70 mégawats, qu'à l'EPR qui en délivrera 4300. Le stock d'iode radioactif d'Osiris est 60 fois moindre que celui de l'EPR*, explique Hervé Nifenecker, physicien nucléaire en retraite et créateur de l'association Sauvons le climat. *[Le maintien d'Osiris] aurait nécessité 20 millions d'euros de travaux et un arrêt de trois ans, difficile à envisager pour le CEA.* » Lequel n'a donc rien fait. Et faute de mises aux normes, l'ASN n'a pas autorisé la prolongation d'Osiris. Les médecins vont-ils alors se tourner vers la tomographie à émission de positons pour remplacer la scintigraphie ? « *Nous ne disposons que de 120 machines pour en réaliser et elles sont déjà saturées*, répond André Aurengo. *Et pour un surcoût de 120 millions d'euros par an.* » Un sérieux casse-tête en perspective. ■ **Azar Khalatbari**



SPL/PHANIE

Le technétium intervient dans 80 % des scintigraphies.

La Tyrannie de la science



Paul Feyerabend,
Seuil, 192 p., 22 €

C'est l'enfant terrible de l'épistémologie, celui qui a balayé la méthode scientifique, liquidé hypothèses et théories. Paul Fayerabend, professeur à l'université de Californie, à Berkeley, puis à Londres et Berlin, Américain d'origine autrichienne décédé en 1994, a été le plus radical des philosophes. Porte-drapeau de l'« anarchisme épistémologique » qu'il a développé dans *Contre la méthode* et *Adieu la raison*, il a accordé à la pensée scientifique un immense espace de liberté sans foi ni loi, répétant qu'en science, la seule règle qui survit, c'est qu'il n'y a pas de règle. *La Tyrannie de la science*, qui vient d'être traduit, regroupe une série de conférences données en 1992. Quatre leçons d'un esprit libre, suivies de débats avec le public, où sont abordés pêle-mêle Dieu, la politique, les religions, le réel, etc., sur le ton d'une simple discussion. Il y dépeint une science désacralisée, par exemple lors de cette critique des résultats du satellite cosmologique Cobe, qui venaient d'être dévoilés et qu'il qualifie de *« quelques observations qui suffisent pour soutenir un scénario riche et complexe, séduisant un très grand nombre »*. Une pensée à contre-courant et toujours actuelle. ■ **Azar Khalatbari**

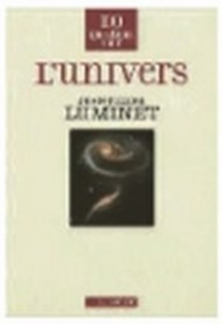
DVD

LA VALSE DES CONTINENTS, SAISON 2

Christopher Hooke et Yannick Rose.
Coffret double DVD, Arte, 24,99 €

Le deuxième opus de cette série documentaire diffusée par Arte nous fait découvrir les tumultes géologiques à l'origine des continents africain et américain. Nous suivons les scientifiques à la recherche des sites présentant encore les stigmates de ces mouvements qui ont façonné la Terre depuis sa formation, il y a 4,6 milliards d'années. Illustré par de splendides images et de très belles infographies, cette série passionnante se regarde en famille. ■ **A. B.**

L'Univers



Jean-Pierre Luminet,
Ed. La Boétie, 230 p., 12,50 €

Quand un astrophysicien de renom, grand passeur de sciences, répond aux questions les plus naïves — qui sont aussi les plus pertinentes — que chacun d'entre nous se pose, cela donne un ouvrage clair, simple et érudit. Tous les domaines de l'astrophysique sont abordés, aussi bien la vie dans le système solaire que le pourquoi du noir de la nuit, la fin du Soleil et les cratères de la Lune. La tâche la plus difficile est sans doute d'y répondre en moins de deux pages en ouvrant à chaque fois quelques nouvelles perspectives. 100 questions plus tard, c'est le ciel tout entier — le visible et l'invisible — qui devient lumineux. ■ **A. Kh.**

L'Astronomie dans l'art, de la Renaissance à nos jours

Alexis Drahos,
Citadelles & Mazenot, 196 p., 59 €

Au centre de la fresque *l'Adoration des mages* réalisée par l'artiste florentin Giotto dans la chapelle des Scrovegni à Padoue (1304-1306), une comète rougeoyante remplace la traditionnelle étoile de Bethléem. Le peintre se serait inspiré de la comète de Halley dont il aurait observé le passage en 1301. Le naturalisme de cette représentation est révolutionnaire pour l'époque. À tel point qu'un hommage en sera rendu à son auteur, bien plus tard, par le baptême d'une sonde spatiale à son nom. À la Renaissance, la représentation des phénomènes naturels devient plus réaliste et le ciel n'échappe pas à la règle. L'apparition de la lunette au XVII^e^ siècle offre bientôt un champ d'exploration inédit. À la charnière des XIX^e^ et XX^e^ siècles, les extraordinaires progrès de l'astronomie peuplent l'Univers de galaxies et de nébuleuses. Un bestiaire revisité au XX^e^ siècle, sous des formes nouvelles, par l'art abstrait, l'expressionnisme ou le futurisme. Au fil des courants artistiques, ce livre richement illustré propose un très beau voyage au pays des étoiles, qui n'ont cessé d'inspirer les peintres. ■ **Audrey Boehly**

Le mystérieux peuple des jarres

Dans la jungle du Cambodge, des archéologues ont trouvé des vases emplis d'os humains. Qui étaient ces défunts ? Les chercheurs tentent de percer l'énigme.

Par Bernadette Arnaud

Un peu de poisson séché et quelques poignées de riz. C'est tout ce que Nancy Beavan, archéologue de l'université d'Otago en Nouvelle-Zélande, peut emporter lors de ses expéditions de plusieurs semaines dans la luxuriante forêt qui recouvre le sud-ouest du Cambodge. Des vivres faciles à transporter, car la marche parmi les papillons et les tiques est souvent éreintante et interminable... Voilà maintenant onze ans que la chercheuse, en compagnie de collègues cambodgiens, explore sans relâche, le long de corniches abruptes, les formations rocheuses de la chaîne des Cardamomes, les Chuor Phnom Krävanh. Et c'est là, à flanc de falaise, à moins d'une dizaine de mètres de hauteur, qu'elle est tombée un jour de 2003 sur un trésor tel que rêve d'en découvrir tout archéologue : des abris naturels formés dans la roche et contenant d'imposantes jarres emplies de

TEP SOKHA

B. LAFON

◀ **Sur le rebord d'une cavité rocheuse,** dans la chaîne des Cardamomes, une région difficile d'accès au sud-ouest du Cambodge *(carte ci-dessus),* s'alignent plusieurs grands vases de terre cuite.

Ces jarres renferment les ossements de défunts déposés il y a cinq siècles par un peuple inconnu.

TEP SOKHA

restes humains, vestiges d'un rituel funéraire énigmatique, inconnu jusque-là au Cambodge.

« *Phnom Khnang Peung* [voir carte], *"la Crête de la Montagne", est le plus grand site que nous ayons mis au jour. Il comprend 40 jarres de 50 centimètres de haut et peut-être les restes de 152 individus* », explique l'archéologue, qui vient de publier ses premiers résultats dans l'*International Journal of Paleopathology*. Le rite d'inhumation, dit secondaire, qu'elle décrit consistait à récupérer les os des morts, une fois les chairs naturellement disparues, pour les rassembler dans des jarres, accompagnés d'offrandes de perles de verre et d'anneaux en bronze. Avant de hisser les récipients à plusieurs mètres de hauteur et de les déposer, les uns à côté des autres, sur le rebord d'abris-sous-roche. « *Nous ne savons pas comment ceux qui les ont déposés s'y prenaient pour les acheminer jusque-là. Peut-être les transportaient-ils sur leur dos, dans des paniers de bambou, pour mieux escalader les parois ?* », poursuit Nancy Beavan. Les chercheurs ont également découvert, associés à la centaine de jarres pour l'instant retrouvées sur l'ensemble des sites, une quinzaine de cercueils monoxyles (creusés dans un seul tronc), eux aussi destinés à recevoir les ossements de défunts.

Le site date du crépuscule de l'empire khmer

Mais ils font face à une énigme : à quel peuple rattacher ces vestiges ? Certes, plusieurs sites comportant des jarres et des cercueils monoxyles avaient déjà été répertoriés dans le Sud-Est asiatique, mais jamais au Cambodge *(lire l'encadré p. 55)*. Des analyses au radiocarbone réalisées à partir d'infimes ▶

L'archéologue néo-zélandaise Nancy Beavan travaille depuis 2003, aux côtés de collègues cambodgiens, sur le site de Phnom Khnang Peung, le plus important des cimetières à jarres du Cambodge. Il comprend 40 vases contenant les restes de 152 personnes ainsi que quelques cercueils de bois.

échantillons d'os prélevés sur le site cambodgien ont fourni de premiers indices. Elles indiquent que ces inhumations remonteraient au XV^e^ siècle de notre ère, autrement dit au crépuscule de l'empire khmer qui dominait la plus grande partie de la péninsule indochinoise depuis le IX^e^ siècle. C'est à cette civilisation que l'on doit les célèbres temples d'Angkor, sur lesquels se concentrent actuellement la plupart des missions archéologiques internationales. Mais l'indication reste vague. « *Effectuer des fouilles sur les hauts plateaux du Cambodge pose des défis particuliers*, raconte Nancy Beavan. *D'une part, parce que les anciennes cultures d'agriculteurs qui occupaient ces régions à l'époque étaient itinérantes. D'autre part, parce que ces montagnes ont aussi servi de refuge à des minorités ethniques qui cherchaient à se protéger de la puissance angkorienne et à échapper à l'esclavage.* »

Un hélicoptère aide à rechercher d'autres sites

Les chercheurs traquent donc sans relâche d'autres gisements sur les 70 kilomètres d'extension du massif étudié, parfois en faisant appel à un hélicoptère, espérant récolter de précieuses informations. Car de nombreux

LUKE DUGGLEBY

PALÉOPATHOLOGIE

Incisives arrachées et marques de scorbut

Restaurées dans le secret des abris rocheux, les jarres-sépultures du massif des Cardamomes ont été volontairement conservées sur les lieux mêmes de leur découverte. Toutes celles qui ont pu être analysées l'ont été sur place. L'étude des crânes a ainsi permis de constater que la plupart des mâchoires ne possédaient plus d'incisives. Celles-ci semblent avoir été volontairement extraites du vivant des individus. S'agit-il d'ablations traditionnelles caractéristiques de certaines tribus et liées à des critères esthétiques ? Vers 200, une coutume similaire aurait existé dans le nord du pays, parmi les habitants des plaines. Plus étonnant : l'équipe de Nancy Beavan aurait mis en évidence, à partir d'analyses isotopiques effectuées sur d'infimes prélèvements d'os, la première preuve de scorbut jamais établie en Asie du Sud-Est. Elle aurait été décelée sur les restes d'un enfant de six ans provenant du site de Phnom Khnang Peung (XV^e^-XVII^e^ siècles). L'examen du squelette a révélé les traces de cette pathologie résultant d'un déficit alimentaire en vitamine C. De nombreux crânes présenteraient le criblage orbitaire fréquemment décrit dans cette anémie. Un scorbut toutefois inattendu dans cette jungle abondante en fruits riches en vitamine C.

autres sites existent sous le couvert végétal, comme en témoignent des relevés effectués dès mars 2000 par des forestiers du Programme de conservation du massif des Cardamomes qui, les premiers, furent à l'origine de la découverte des jarres. « *C'est d'ailleurs grâce à l'archéologue cambodgien Somreath Siphouen que je suis venue à l'époque au Cambodge, après que l'on m'a demandé de dater les ossements des quatre premières jarres* », se souvient la chercheuse. Malheureusement, les coordonnées GPS des premiers sites repérés ont été perdues. Mais depuis 2003, dix autres sites ont été découverts et deux viennent encore d'être localisés il y a peu. Parmi eux, quatre ont déjà pu faire l'objet d'études scientifiques complètes : Khnorng Sroal, Damnak Samdech, Phnom Pel et Khnang Tathan. Mais sans fournir, pour l'heure, d'indications déterminantes permettant d'identifier leurs fondateurs.

Les légendes locales pourraient livrer des indices

Aussi, pour tenter de répondre aux questions soulevées par ces rituels singuliers, l'équipe de Nancy Beavan s'est-elle lancée dans le recueil des légendes circulant toujours parmi les populations présentes dans le massif des Cardamomes. Mais retrouver des habitants originaires de la région qui auraient pu garder le souvenir d'anciennes pratiques, comme les peuples Por, Samré, Suoy ou Chong, se révèle difficile. Au XX^{e} siècle, au cours de la terrible période des Khmers rouges et de leur utopie meurtrière, de très nombreux villageois ont en effet été déplacés. Nancy Beavan estime ainsi qu'à peine 10 % des occupants actuels possèdent des liens avec les groupes qui vivaient dans ces montagnes avant le régime de Pol Pot. « *Mais nous ne perdons pas espoir. Le plus obscur des mythes peut parfois contenir un grain de vérité.* »

RITES FUNÉRAIRES

Des pratiques qui se retrouvent de Bornéo à la Thaïlande

Si aucun rite funéraire impliquant la conservation d'ossements dans des jarres n'avait été observé jusqu'alors au Cambodge, on en trouve la trace ailleurs en Asie. Certains, dans la région de Mae Hong Son, en Thaïlande, sont datés de 2000 ans avant notre ère ; d'autres se trouvent au nord du Viêt-Nam, au sein d'une communauté thaï de la province de Thanh Hóa ; sans oublier les plus célèbres d'entre elles, dans la plaine des Jarres, au Laos (*lire* S. et A. *n° 705, novembre 2005*). L'exposition des cercueils était aussi une pratique assez répandue à Bornéo et aux Célèbes, où des archéologues britanniques ont mis au jour des nécropoles de jarres et de cercueils en forme de bateau. Ainsi, à l'est de Sabah, l'un des deux États malaisiens de Bornéo, les grottes d'Agop Batu Tulug recelaient des centaines de ces cercueils creusés dans des troncs d'arbres vieux de 700 à 900 ans. « *À des dates plus récentes, nous savons aussi que des jarres similaires à celles du Cambodge, connues sous le nom de Maenam Noi, ont été produites entre le XIV^{e} et le XVI^{e} siècle en Thaïlande,* explique l'archéologue néo-zélandaise Nancy Beavan. *Mais elles étaient utilisées comme conteneurs pour le riz ou des matières premières tel l'indigo, et non comme urnes funéraires.* »
Une épave médiévale, retrouvée au large des côtes cambodgiennes, en renfermait d'ailleurs une cargaison entière.

TEP SOKHA

« Ce patrimoine disparaîtra d'ici à cinq ans si nous ne parvenons pas à le protéger face à l'avancée de la déforestation »

Nancy Beavan, archéologue de l'université d'Otago (Nouvelle-Zélande), responsable des fouilles de Phnom Khnang Peung

Pour ne rien arranger, ces travaux prennent l'allure d'une course contre la montre. Les chercheurs voient en effet arriver, y compris dans ces zones reculées, bulldozers et camions chargés de grumes provenant de coupes d'arbres illégales. « *De larges bandes de terre rouge balafrent désormais un paysage où se trouvait encore il y a peu une forêt intacte*, déplore Nancy Beavan. *Or le patrimoine du "peuple des Jarres" partira avec le reste si nous ne parvenons pas à le protéger face à l'avancée de la déforestation, ou à celle des plantations de canne à sucre, sans compter les projets hydroélectriques.* » Nancy Beavan pense qu'il lui reste encore cinq ans de recherches avant qu'il soit trop tard. Interpellées, les autorités gouvernementales ont décidé de réagir, lançant un plan de protection et de préservation de la région. Des mécènes se sont également engagés. Ainsi, depuis 2013, le Fonds Marsden de la Société royale de Nouvelle-Zélande et l'université d'Otago ont débloqué 450 000 €. Cela suffira-t-il pour identifier le « peuple des Jarres » ? ■

Neandertal, un artiste controversé

La découverte de gravures géométriques remontant à plus de 39 000 ans et attribuées à l'homme de Neandertal confirme que notre cousin préhistorique était pourvu de pensée symbolique. Elle relance le débat sur ses capacités.

Ce ne sont que quelques traits formant un motif croisé de 20 cm sur 15 cm, une grille rudimentaire, une ébauche de parallélogrammes... Mais leur image a fait le tour du monde. Car ils ont été patiemment, profondément gravés au fin fond d'une grotte de la péninsule Ibérique, il y a 39 000 ans au moins, par des néandertaliens, affirme une équipe internationale de chercheurs dans la revue américaine *PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences)*. *« Cette découverte montre que Neandertal était capable de pensée abstraite et d'expression par l'usage de formes géométriques »*, assure l'article, cosigné par Francisco d'Errico (laboratoire Pacea, université de Bordeaux, CNRS). Surprenant ? Pas vraiment... On savait déjà que notre cousin préhistorique était capable de pensée symbolique : il enterrait ses morts, utilisait des pigments rouge et noir, portait des parures de plumes et de griffes de rapaces, de coquillages percés et teintés. Moins connu : cette œuvre abstraite ne serait pas la première. On a en effet déjà retrouvé des lames osseuses présentant des groupes de stries parallèles à Bilzingsleben, au centre de l'Allemagne, des silex marqués d'encoches en série à Champlost, dans l'Yonne, des galets striés en Corrèze, sur le site de Chez Pourré-Chez Comte, des fossiles gravés à Tata, au nord-ouest de la Hongrie et même un os orné d'un motif en étonnants zigzags à Bacho Kiro, en Bulgarie centrale... Autant d'objets dont les datations renvoient au paléolithique inférieur et moyen, *« à des époques où seul Néandertal ou son ancêtre prénéandertalien habitaient les régions concernées »*, selon Francesco D'Errico. Plus controversée, la question de savoir s'il a pu être l'auteur de peintures rupestres découvertes en Espagne et datées récemment entre -40 800 et -35 600 ans (*lire* S. et A. *août 2012*). En revanche, c'est bien la première fois qu'on met au jour une gravure sur roche néandertalienne, grâce aux fouilles menées depuis plus de vingt ans dans la grotte de Gorham, sur la falaise de Gibraltar, face à la Méditerranée.

LE + NUMÉRIQUE
« Pigments, gravures, parures : les comportements symboliques controversés des néandertaliens » par Marie Soressi et Francesco D'Errico et une vidéo de la gravure.
http://sciav.fr/812grotte

Un travail de gravure intentionnel et minutieux

Exécuté à plat sur un saillant d'une trentaine de centimètres, ce motif peut sembler modeste, mais il est une pièce essentielle au débat des préhistoriens sur les capacités cognitives des néandertaliens et leurs relations culturelles avec les modernes. Premièrement, ces gravures ont été faites intentionnellement.

Chronologie des cultures paléolithiques

Débutant avec l'apparition du genre *Homo* et s'achevant avec la dernière déglaciation, le paléolithique a vu se succéder différentes cultures caractérisées par des techniques de taille ou des représentations symboliques de plus en plus élaborées.

	ACHEULÉEN	MOUSTÉRIEN	CHÂTELPERRONIEN	AURIGNACIEN
Dates	-1 700 000 à -100 000 environ	-100 000 à -30 000 environ	-38 000 à -10 000 environ	-37 000 à -24 000 environ
Espèces d'hominidés présentes	*Homo erectus*, Prénéandertaliens, *Homo sapiens* archaïque	*Homo neanderthalensis*, *Homo sapiens* archaïque et *Homo sapiens*	*Homo neanderthalensis*, *Homo sapiens* archaïque et *Homo sapiens*	*Homo sapiens*

AP/SPA

L'analyse microscopique de la gravure trouvée dans la grotte de Gorham révèle un travail patient à l'aide d'une pointe très dure, et non le résultat fortuit d'une activité utilitaire.

« C'était minutieux, ce n'est pas comme si quelqu'un avait juste griffonné sur les murs ou gratté la surface », souligne Clive Finlayson, directeur du musée de Gibraltar. Selon l'examen microscopique de la gravure, reproduite par ordinateur en trois dimensions, et selon les travaux d'archéologie expérimentale, elle ne résulterait pas de phénomènes naturels ou d'activités utilitaires comme découper de la viande, des peaux, polir ou aiguiser des outils. Les sillons seraient dus au passage, répété des dizaines de fois, d'une pointe à graver très dure.

Deuxièmement, *« la gravure pourrait être un message symbolique, comme un "suivez la flèche" ou une sorte de "vous êtes ici"*, affirme Clive Finlayson. *Un message adressé aux visiteurs de la grotte, un signe qu'elle est occupée. »*

Troisièmement, la gravure était recouverte d'une couche de sédiments datant de plus de 39 000 ans, selon une datation au radiocarbone, ce qui correspondrait à une époque où les lieux étaient habités par des néandertaliens. Ils seraient venus vers -67 000 ans dans cette région,

F. D'ERRICO

La grotte de Gorham, sur la face est du rocher de Gibraltar, a pu être occupée pendant des dizaines de milliers d'années.

les *Homo sapiens* les remplaçant il y a 40 000 ans. La production de représentations abstraites ou figuratives dans les grottes ne serait donc pas une innovation culturelle introduite par l'homme moderne quand il a colonisé l'Europe, avancent les auteurs.

Mais ce n'est pas si simple... Des outils moustériens — du nom de l'abri-sous-roche du Moustier, en Dordogne — ont été découverts sous cette couche sédimentaire. Or le moustérien était aussi la culture des *Homo sapiens* archaïques au Moyen-Orient, entre -100 000 ans et -35 000 ans. Elle pourrait même avoir été présente en Afrique du Nord. Du coup, si *Homo sapiens* a taillé des outils moustériens dans certaines régions, pourquoi ne serait-il pas aussi l'auteur de ceux de Gibraltar, estiment d'autres spécialistes au nombre desquels Jean-Jacques Hublin, patron de l'Institut Max-Planck d'anthropologie de l'évolution à Leipzig (Allemagne)... Qui a vraiment fait ces graffitis sur les murs ? Clive Finlayson n'est pas troublé : *« Il n'y a aucune preuve que les humains modernes aient fait la traversée vers le rocher avant des milliers d'années. En outre, à Gibraltar, des outils moustériens sont associés à des restes de squelettes néandertaliens, comme sur le site de la tour du Diable. »*

De possibles échanges culturels avec *Homo sapiens*

Une autre possibilité est que les néandertaliens aient imité le comportement des humains modernes à leur contact. Les *H. sapiens* sont arrivés en Europe il y a 43 000 ans au moins et peut-être même il y a 45 000 ans, selon deux études internationales menées en Italie et Grande-Bretagne en 2011, qui ont refait les datations des vestiges. La question des échanges culturels entre *Homo sapiens* et homme de Neandertal reste très discutée. Selon les derniers résultats, publiés en août, les deux espèces auraient pu se côtoyer durant une période de 2600 à 5400 ans en Europe*. Et selon les études génétiques menées depuis 2010, elles se sont hybridées : aujourd'hui, le génome des Européens et des Asiatiques inclut de 1 à 4 % de celui des néandertaliens. Si ces ancêtres préhistoriques ont partagé des gènes, il ne serait pas surprenant qu'ils aient aussi partagé des techniques et des pratiques artistiques. ■

Rachel Mulot

* Lire notre article sur sciencesetavenir.fr « Neandertal a disparu plus tôt que prévu ».

SERVICE ARCHÉOLOGIQUE DE LA VILLE DE LYON

L'appareil de la muraille mise au jour correspond exactement à la technique gauloise décrite par César.

Lyon retrouve ses origines gauloises

Après la découverte d'un mur gaulois sur la colline de Fourvière, la fondation par les Romains de la cité est remise en question.

Lieutenant de Jules César durant la guerre des Gaules, Lucius Munatius Plancus ne serait sans doute jamais passé à la postérité si on ne lui avait attribué un acte majeur : la fondation *ex nihilo* de la ville de *Lugdunum* (Lyon) en 43 avant notre ère sur la colline de Fourvière. Or, voilà que ce récit — déjà ébranlé ces dernières années — vole en éclats. Car un *murus gallicus* (mur gaulois) vient d'être découvert précisément sur cette « colline de la lumière » située à l'ouest de la ville. De quoi revisiter l'histoire des origines de la capitale des Gaules !

« Lyon n'est pas la création romaine que l'on prétendait jusqu'alors. Il s'agit plutôt d'un oppidum gaulois (une cité fortifiée) sur lequel les Romains sont venus s'installer », explique Michèle Monin, l'archéologue du Service archéologique de la ville responsable des fouilles. Les vestiges insoupçonnés du mur sont apparus à sept mètres de profondeur lors du creusement d'un parking. *« De janvier à juin, date d'achèvement d'une opération d'urbanisme, plus de 30 mètres de fortification gauloise ont été dégagés »*, explique la chercheuse. Et sa réalisation répond très exactement aux principes de construction décrits par Jules César (100 - 44 avant J.-C) dans son récit de *La Guerre des Gaules* : un imposant remblai conforté par un assemblage en couches entrecroisées de poutres horizontales fixées entre elles par de grands clous en fer. Le tout étant recouvert d'un parement en pierre sèche. *« S'il ne reste que les empreintes des grands madriers en bois disparus, nous avons retrouvé les clous à distance régulière, ainsi que des restes du revêtement de pierre constitué de blocs de gneiss »*, poursuit l'archéologue.

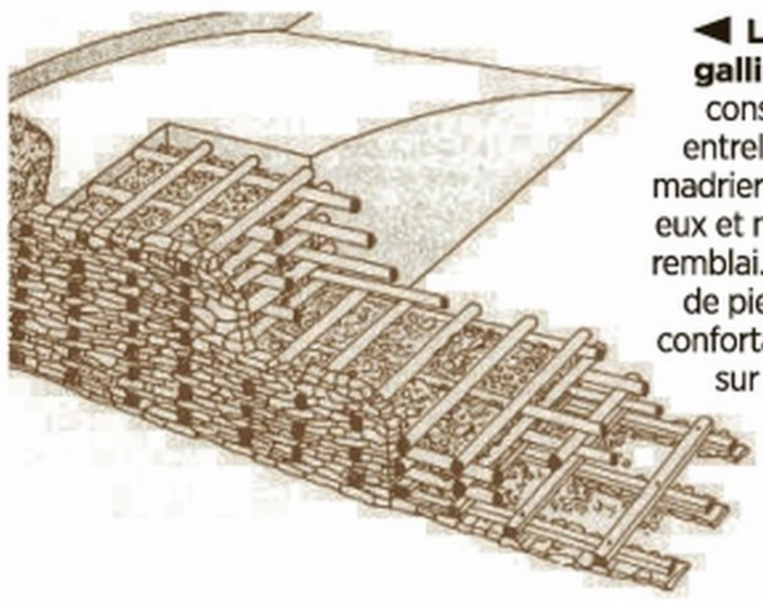


ILLUSTRATION ARCHÄOLOGISCHE STAATSSAMMLUNG MÜNCHEN

◀ Le « murus gallicus » était constitué d'un entrelacs de forts madriers cloués entre eux et noyés dans du remblai. Un parement de pierres sèches confortait l'ensemble sur les côtés.

Vingt siècles de remparts

Qui pouvait donc occuper le site à l'arrivée des Romains ? Il pourrait s'agir des Ségusiaves, un peuple gaulois qui n'avait été jusque-là rencontré que plus bas dans la plaine. Les hauteurs de la ville n'avaient en effet révélé que la présence de tranchées sans destination claire. *« Leur étude avait livré d'importantes quantités d'amphores, mais faute de traces tangibles de structures d'occupation telles que des maisons ou toute autre construction, nous ignorions s'il s'agissait de fossés défensifs ou d'autre chose »*, ajoute Michèle Monin.

Cette découverte oblige à porter un regard nouveau sur l'histoire de la «capitale des Gaules ». D'autant que la trouvaille n'a pas été la seule : outre le mur gaulois, les vestiges d'un rempart romain et d'une tour circulaire de l'époque d'Auguste (27 avant J.-C. - 14 après J.-C.) ont également été exhumés, ainsi qu'un pan de muraille médiévale sur lequel s'appuyaient les restes d'un bastion napoléonien. *« Ce sont rien de moins que les vestiges de vingt siècles de remparts qui viennent d'être exhumés à Lyon »*, conclut la spécialiste. ■

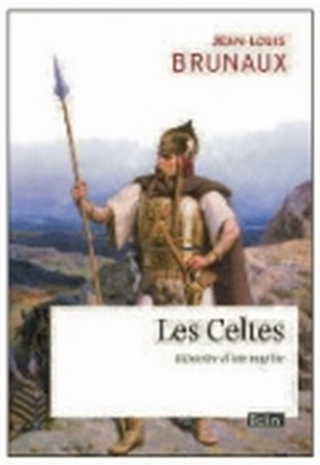
Bernadette Arnaud

Sexe, race & culture

Patrick Tort, Régis Meyran, Textuel, 108 p., 16 €

Ce livre, dans une langue précieuse et savante, est réservée à un public très cultivé et motivé. L'humilité et l'indulgence ne sont pas le fort de son auteur, le philosophe, linguiste, historien des systèmes de pensée, Patrick Tort, fondateur de l'Institut Charles-Darwin et probablement « l'exégète » le plus pointilleux de ce dernier. Il s'attaque ici à deux questions brûlantes : le sexe et la race sont-ils des réalités biologiques ou des constructions sociales ? Il pourfend la naïveté des militants qui ont pensé faire disparaître le racisme, en arguant scientifiquement que les races n'existaient pas (Si les races existaient, aurait-on le droit d'être raciste ?). Et affirme que c'est bien parce que le sexe biologique existe, que le genre peut devenir un concept. ■ **Rachel Mulot**

Les Celtes. Histoire d'un mythe



Jean-Louis Brunaux, Belin, 284 p., 23 € (en librairie le 1er octobre)

Vous avez dit Celtes ? Mais qui sont-ils ? Y a-t-il un rapport entre l'héritage celtique revendiqué aujourd'hui par certains et les Celtes des anciens Grecs ? Spécialiste de ces questions épineuses, l'archéologue et historien Jean-Louis Brunaux est remonté aux sources de ce terme apparu en 530 avant J.-C. Au fil d'une enquête qui couvre vingt-six siècles, l'auteur montre que les Celtes n'ont cessé de faire l'objet de visions idéologiques et de constructions mythiques, y compris, à la fin du XIXe siècle, en alimentant des théories qui ont influencé le nazisme. Un décryptage salutaire de ceux dont Tolkien disait : *« Les Celtes [...] sont un sac magique, dans lequel on peut mettre ce que l'on veut et d'où l'on peut sortir à peu près n'importe quoi. »* ■ **Bernadette Arnaud**

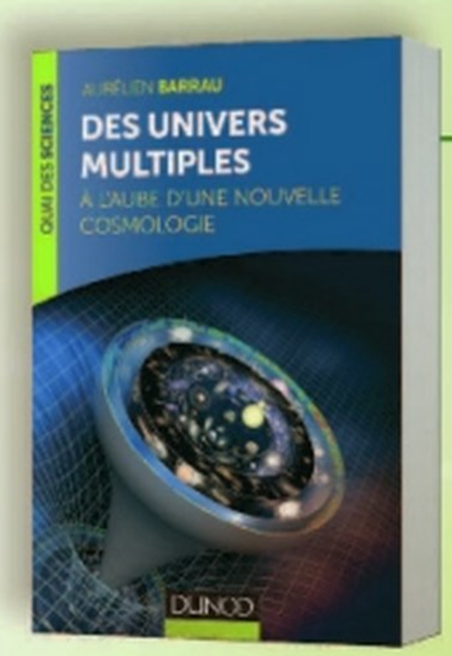
BD

14-18, le petit soldat (août 1914)

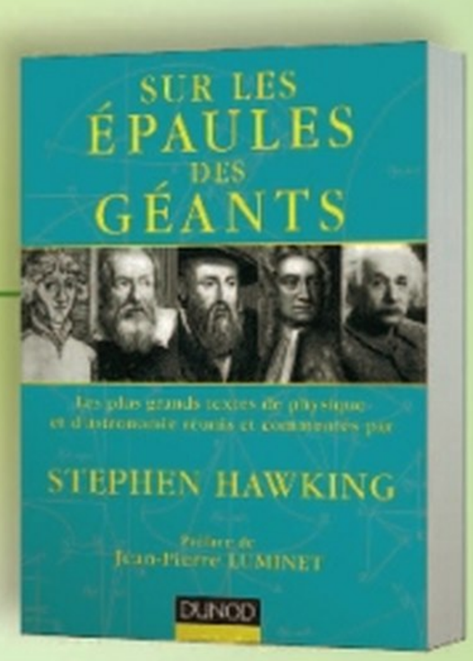
Corbeyran, Le Roux, Delcourt, 56 p., 14,50 €

1er août 1914. L'ordre de mobilisation vient de retentir sur la place du village où sept amis sont joyeusement en train de fêter les fiançailles d'un huitième. Voici Pierre, Arsène, Armand, Louis, Maurice, Jules, Jacques et Denis affectés au même régiment d'infanterie et qui partent en découdre, la morgue au front. Très beau projet qui s'étalera sur les cinq années de conflit et sur dix tomes, *14-18* démarre formidablement bien. Un prologue efficace et monstrueux avant de nous plonger dans le quotidien de jeunes gens ordinaires. De très beaux dialogues authentiques et naturels, une caractérisation efficace des personnages. ■ **Hervé Ratel**

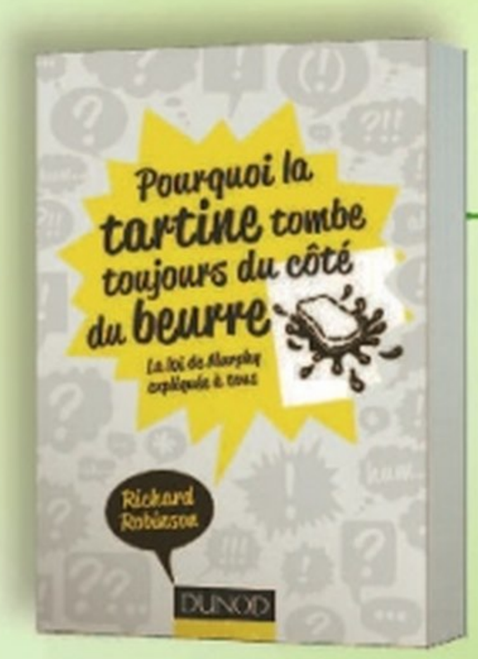
VARIEZ LE PLAISIR DES SCIENCES



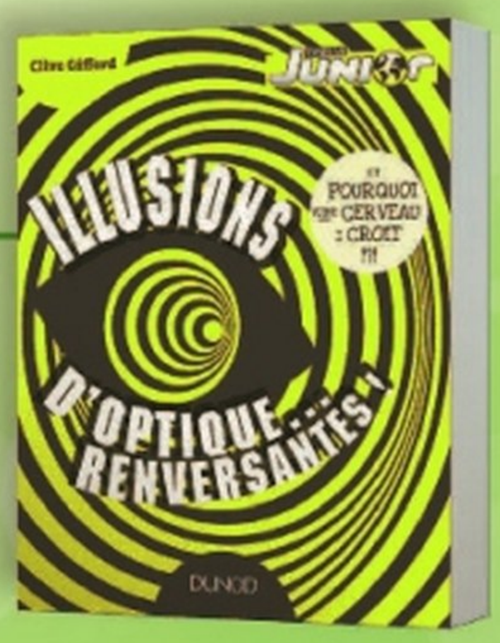
A. BARRAU
9782100717125 ▪ 176 pages ▪ **14,50 €**
Notre Univers ne serait-il qu'une fraction d'un vaste multivers ?
Aurélien Barrau nous dévoile les théories cosmologiques les plus audacieuses



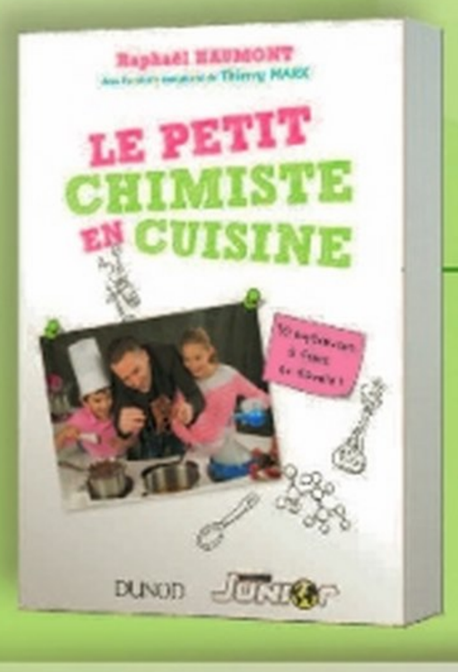
S. HAWKING
9782100716692 ▪ 944 pages ▪ **29,00 €**
Cinq textes révolutionnaires, fondateurs de la physique et de l'astronomie, réunis par Stephen Hawking



9782100716784 ▪ 264 pages ▪ **14,90 €**
Grâce à ce livre, vous connaîtrez enfin les ressorts secrets, et très scientifiques, de la loi de Murphy implacable et universelle…



C. GIFFORD
9782100709717 ▪ 64 pages ▪ **12,90 €**
Surprenez vos yeux et étonnez votre cerveau avec ce livre d'illusions d'optique démentielles.



R. HAUMONT
9782100715015 ▪ 144 pages ▪ **12,90 €**
Trente petites expériences culinaires épatantes avec explications scientifiques : manipulez, observez… et dégustez !

www.dunod.com

DUNOD
ÉDITEUR DE SAVOIRS

Les champignons, ces inconnus de nos forêts

Une base de données nationale est mise en place pour mieux comprendre ces organismes mystérieux, beaucoup moins étudiés que la faune et la flore.

Par Pascale Pisani

LA RÉCOLTE A EU LIEU le 8 septembre 2001, dans le nord de la France, à Condé-sur- l'Escaut, très exactement à la position GPS 50,4486510 3,59340700. Un bel *Octospora vivida* pointe sa corolle orangée et ondulante. Il sera fiché dans la base mycologique nationale, avec ses noms synonymes, sa place dans la classification et les lieux et dates des endroits où il a été repéré. Et toute sa bande avec lui, soit près de 17 000 espèces de champignons recensées par Régis Courtecuisse, directeur du Laboratoire des sciences végétales et fongiques de la faculté des sciences pharmaceutiques et biologiques de Lille-II, dans l'Inventaire et cartographie des *Mycota* français après un tri draconien. Cet ancien président de la Société mycologique de France a commencé par rassembler des informations sur plus de 60 000 espèces avant d'éliminer les doublons ou les redondances mal identifiées de sa liste. Une étape indispensable pour dresser un référentiel de noms fiable.

Le résultat d'un quart de siècle de travail

« Je me suis attelé à cet inventaire de la diversité mycologique française en 1990… et j'y suis toujours ! Par bonheur, j'ai toujours aimé faire des listes, », confesse Régis Courtecuisse. En d'autres termes, ce sont pas moins de 20 000 heures en un quart de siècle que le spécialiste aura consacrées à l'identification des champignons de l'Hexagone ! Pour enfin savourer sa récompense : depuis juillet, les premières données dévoilant les mystères de ces organismes sont accessibles en ligne. L'examen de bases de données, d'herbiers anciens et de publications plus ou moins confidentielles dans lesquels Régis Courtecuisse s'est plongé avec persévérance éclot enfin. Un véritable travail souterrain comparable au développement d'un mycelium enfoui dans le sous-sol !

1,5 million d'espèces dans le monde
C'est l'estimation du nombre total d'espèces la plus souvent citée. Suivant les mycologues, la fourchette varie entre 750 000 et 10 millions… Aujourd'hui, seules 100 000 espèces sont décrites selon les canons de la taxonomie.

SOCIÉTÉS SAVANTES

Un projet participatif qui mise sur les mycologues amateurs

Ce sont en très grande partie les observations des mycologues amateurs qui constituent la matière de la base mycologique nationale, projet porté par la Société mycologique de France (SMF) dont la mise en ligne a débuté en juillet avec les données des régions Nord-Pas-de-Calais et Picardie. La mycologie française est en effet affaire d'amateurs, les mycologues professionnels étant moins d'une dizaine dans notre pays. Les sociétés spécialisées comptent environ 10 000 adhérents, certains étant des experts de renommée internationale. *« Leurs observations représentent des milliers d'heures de travail que l'État n'aurait jamais pu payer,* commente Marc-André Selosse, chercheur au Muséum. *Cela prouve l'utilité des sociétés scientifiques et leur vitalité. »* Chacun peut d'ailleurs proposer ses observations aux sociétés locales pour participer à l'enrichissement de la base, celles-ci se chargeant d'adouber ceux dont elles estiment les compétences suffisantes. Pour homogénéiser les observations, un cadre de travail et des fiches de récolte formatées sont proposés. Une commission de validation, formée de membres de la SMF et des chercheurs du Laboratoire des sciences végétales et fongiques de la faculté des sciences pharmaceutiques et biologiques de Lille-II, entérine ensuite les informations avant de les intégrer à la base.

Clitocybe améthyste (*Laccaria amethystina*). Ce champignon comestible est hygrophane, autrement dit change de couleur selon le taux d'humidité.

Cortinaire sanguin (*Cortinarius sanguineus*). Il est vénéneux mais ses pigments fournissent un colorant pour l'ébénisterie.

Galère marginée (*Galerina marginata*). Très toxique voire mortelle, elle contient le même poison que la redoutable amanite phalloïde, l'amanitine.

PHOTOS : JEAN-YVES GROSPAS/BIOSPHOTO - HERVÉ CHELLÉ/BIOSPHOTO

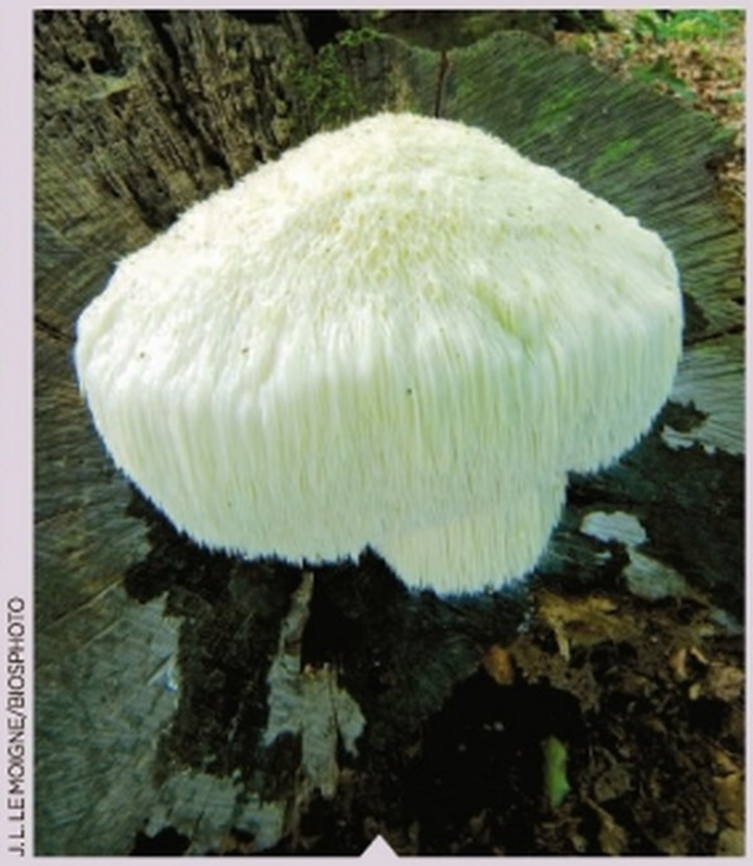
Des donneurs d'alerte sur l'état de l'environnement

E. P. BLANCHARD/MUSHROOM OBSERVER.ORG

L'hygrophore en capuchon (*Porpolomopsis calyptriformis*), signale des prairies naturelles à sol plutôt pauvre en azote. Sa présence est un signe du caractère naturel du sol.

J. L. LE MOIGNE/BIOSPHOTO

Le rosé des prés (*Agaricus campestris*) recherche des milieux riches en azote et pousse, comme les coulemelles et autres grandes lépiotes, dans les pâturages où les bouses sont abondantes.



P. CLEMENT/NATURE PL./EBP PHOTO

L'hydne hérisson (*Hericium erinaceus*) affectionne les forêts anciennes, peu touchées par l'intervention humaine. Sa présence est emblématique de milieux à préserver, qui hébergent une biodiversité précieuse.

▸ Et la récolte promet d'être abondante. Les informations qu'il a ainsi réunies peuvent désormais être librement consultées aussi bien par les mycologues avertis que par le grand public. Elles ne concernent pour l'instant que les régions Nord-Pas-de-Calais et Picardie *(lire encadré p. 60)*.
La mise en ligne de l'inventaire national des « macromycètes », autrement dit les gros champignons, constitue une étape cruciale dans ce travail titanesque. Car le règne des *fungi* est un empire foisonnant dont la compréhension est en permanente évolution ! On estime ainsi que seules 5 % des espèces mondiales — et 30 % des françaises — auraient été identifiées à ce jour, sur plus d'un million que compterait la « fonge » (1) du globe. Parmi elles, les macromycètes n'en constituent que moins de 1 %. Dans le nouvel inventaire, chaque espèce est nommée (ou renommée) selon un nom unique faisant consensus au sein de la communauté mycologique. L'emplacement de l'espèce dans la classification phylogénétique est mentionnée, ainsi que des informations sur l'écologie du champignon et une mention des sources bibliographiques et iconographiques afin d'en faire un outil de référence. Sans oublier les différents relevés qui mentionnent ce champignon, tel cet *Octospora vivida* de la commune de Condé-sur-l'Escaut !
Cette base, hébergée par la Société mycologique de France, ne vivrait pas sans la collaboration des nombreuses sociétés mycologiques locales et, plus largement, de tous les connaisseurs de champignons qui viendront y ajouter leurs observations en continu *(lire l'encadré p. 60)*. Elle offre un nouvel outil efficace à la recherche appliquée en améliorant la

CUEILLETTE

Les risques de la localisation GPS

Avec la généralisation des GPS, les récoltes de champignons peuvent désormais être localisées très précisément. Cette information doit-elle pour autant être accessible à tous ? Formalisé par la convention d'Aarhus votée en 1998, l'engagement européen pour un accès des données sur l'environnement au grand public prévoit la mise à disposition de ces informations à l'échelle de la commune, sans localisation plus précise. *« Mais des organismes comme le Système d'information sur la nature et les paysages (SINP) voudraient que nous mettions les références GPS en accès libre*, explique Régis Courtecuisse. *Cela pose problème pour la protection des espèces fragiles et pour les risques toxiques. Les espèces exposées sont d'une part celles qui sont recherchées pour la consommation gastronomiques comme les cèpes, les morilles, les truffes, et d'autre part les espèces hallucinogènes. »* Les chercheurs redoutent que ces données attirent des professionnels de la cueillette qui détruisent les sous-bois par des récoltes massives, ou donnent accès à des champignons inscrits sur la liste des stupéfiants dont la consommation est croissante.

I. VAN BAELINHEM/BOSPHOTO

Le bolet bai (*Xerocomus badius*) est un bon comestible mais aussi un accumulateur de radioéléments. Dans des régions touchées par des retombées radioactives, sa consommation régulière constituerait un vrai risque sanitaire.

G. K. SMITH/NATUREL PL/EB PHOTO

Le coprin chevelu (*Coprinus comatus*) est comestible cueilli jeune. Mais il peut accumuler, en fonction de son environnement, des doses de plomb, de mercure et d'arsenic des centaines de fois supérieures aux limites préconisées.

connaissance de la biodiversité fongique. « *C'est un potentiel fondamental qui a malheureusement longtemps été négligé* », regrette Régis Courtecuisse. Car au-delà de l'inventaire *stricto sensu*, l'accumulation d'observations dans le temps et l'espace permet d'observer l'évolution des aires de répartition des champignons, qui sont des outils précieux de la biosurveillance environnementale (*voir ci-dessus*). Les mycologues ont d'ores et déjà constaté la migration d'espèces réputées méridionales en direction du nord. Ainsi, *Amanita proxima*, traditionnellement répertoriée au sud de la Loire a été signalée jusqu'en Picardie. De même, *Laccariopsis mediterranea* a migré depuis la Sardaigne jusqu'au Pas-de-Calais. Le rapprochement des données est indispensable pour objectiver ces observations sur les migrations et les invasions. Ou encore pour repérer des cycles ou des éclipses dans la présence des champignons sur certains territoires et en chercher les causes. Un travail crucial, notamment dans le cadre du réchauffement climatique en cours.

Cela devrait aider également à valider les listes régionales et nationales des champignons menacés, dont aucune n'est encore ratifiée, et à protéger certaines espèces en danger d'extinction.

Un recensement des espèces souterraines reste à faire

La base de données va peu à peu gagner en volume. Pierre-Arthur Moreau, un des responsables de la mise en ligne à l'université de Lille-II, estime à 20 000 les observations entrées en juillet, correspondant à 1000 espèces. Mais il espère bien atteindre prochainement les 150 000 données correspondant aux 6000 espèces présentes dans la région. L'enrichissement de l'inventaire devrait se faire très rapidement avec la participation d'autres bases existantes comme celle du Conservatoire botanique national des Pyrénées, celle de l'Office national des forêts, celle d'Ascofrance, base collaborative spécialisée dans les ascomycètes (2), et enfin le concours de tous les organismes qui voudront bien y verser leurs données afin de mettre en commun des centaines de milliers d'observations. « *Il va falloir compléter ce travail basé sur l'observation des fructifications par un recensement des mycéliums souterrains* », estime Marc-André Selosse, chercheur au Muséum national d'histoire naturelle. En séquençant les fragments d'ADN d'un échantillon de sol, on repère en effet dix à mille fois plus de champignons qu'en surface. Le sol regorge d'espèces qui ne fructifient jamais mais qui assurent néanmoins des fonctions parfois étonnantes dans la dégradation de la matière ou dans la communication entre une plante et une autre.

Le séquençage permettrait de mieux les identifier

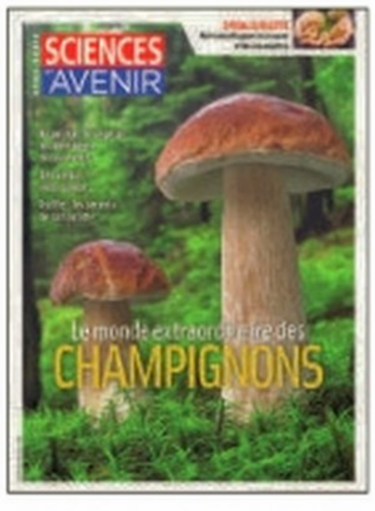
Pour l'instant, l'analyse moléculaire permet tout juste de savoir que ces champignons existent, sans qu'on n'en sache rien de plus. Correspondent-ils à des espèces déjà décrites ? Pour le savoir, il faudrait procéder au séquençage de tous les champignons recensés à l'inventaire... Un travail là encore titanesque, et surtout économiquement irréalisable pour l'instant.

Mais avec l'évolution des techniques et la baisse continue des coûts du séquençage, le chemin à parcourir sera peut-être plus court que celui qu'il a fallu à Régis Courtecuisse, précurseur en son domaine, pour faire aboutir son projet... ■

POUR EN SAVOIR PLUS

La base mycologique nationale est accessible sur le site de la Société mycologique de France à l'adresse
▸ mycofrance.fr

À lire
notre hors-série spécial champignons actuellement en kiosque



(1) Ensemble des organismes vivants *fungi* (ou *mycota* ou mycètes), communément appelés champignons.
(2) Mycètes dont les spores se forment dans des asques (sacs), comme les morilles.

Les biocarburants passent la seconde

Une usine pilote transformant des résidus végétaux en essence entre en production dans la Marne. Ces agrocarburants de deuxième génération cumulent les avantages. Explications.

C'EST AU BEAU MILIEU DES CHAMPS de betterave et de blé champenois, à quelques encablures de Reims (Marne), que se joue une révolution technologique invisible, cachée dans de grands fermenteurs en Inox. Et, peut-être, l'avenir de la France en matière de biocarburants. Ces derniers ont vu leur cote s'effondrer depuis qu'il leur est reproché d'entrer en concurrence frontale avec la production alimentaire et d'exercer une pression insoutenable sur les terres agricoles. Sans oublier leurs émissions de CO_2, pas aussi faibles qu'espérées... C'est à cela que l'usine pilote du projet Futurol, sur le site agro-industriel de Pomacle-Bazancourt, pourrait remédier.

Car ici on produit du biocarburant de deuxième génération, autrement dit issu de résidus végétaux, voire de plantes qui n'entrent pas en concurrence avec l'agroalimentaire. « *Nous fabriquons du bioéthanol à partir de bois, de tiges ou de déchets verts* », explique Benoît Trémeau, le secrétaire général de cette unité expérimentale de 5 000 m², capable de délivrer chaque jour jusqu'à 1 tonne de biocarburant, qui pourra être mélangé ensuite à de l'essence sans plomb.

À l'origine de ce nouveau carburant, des résidus agricoles ou forestiers mais aussi des cultures dites énergétiques : des herbacées comme le miscanthus ou des arbres à pousse rapide tels le saule ou le peuplier. Il ne s'agit donc plus ici d'exploiter la partie comestible des plantes (céréales, canne à sucre, graines de colza...), utilisée dans l'élaboration de bioéthanol et de biodiesel de première génération. De plus, pour Benoît Trémeau, « *valoriser l'intégralité de la plante améliore le bilan énergétique et environnemental de ces nouveaux carburants* ». « *Les premiers résultats sont très positifs* », renchérit Hubert Boizard, chercheur à l'unité Agro Impact à l'Institut national de la recherche agronomique (Inra), qui collabore au projet.

Plusieurs dizaines de projets expérimentaux de deuxième génération commencent à voir le jour dans le monde. Fin 2013, une première usine de taille industrielle a ouvert ses portes à Crescentino, dans le nord de l'Italie. En vitesse de croisière, elle devrait produire jusqu'à 40 000 tonnes de bioéthanol par an. Quatre autres usines suivront d'ici à la fin de l'année, aux États-Unis et au Brésil. En France — pays leader des biocarburants de première génération en Europe et première puissance agricole européenne —, le procédé Futurol est prêt à être commercialisé, après cinq années de recherche. Avec un budget de 76 millions d'euros, le projet aura mobilisé depuis 2008 pas moins de 12 équipes de recherche dont celles de l'Inra et de l'Institut français du pétrole Énergies nouvelles (Ifpen), ainsi que des poids lourds industriels comme Total.

FRANÇOIS NASCIMBENI/AFP

À partir de déchets agricoles ligneux, l'usine du projet Futurol de Pomacle-Bazancourt (Marne) produit du bioéthanol.

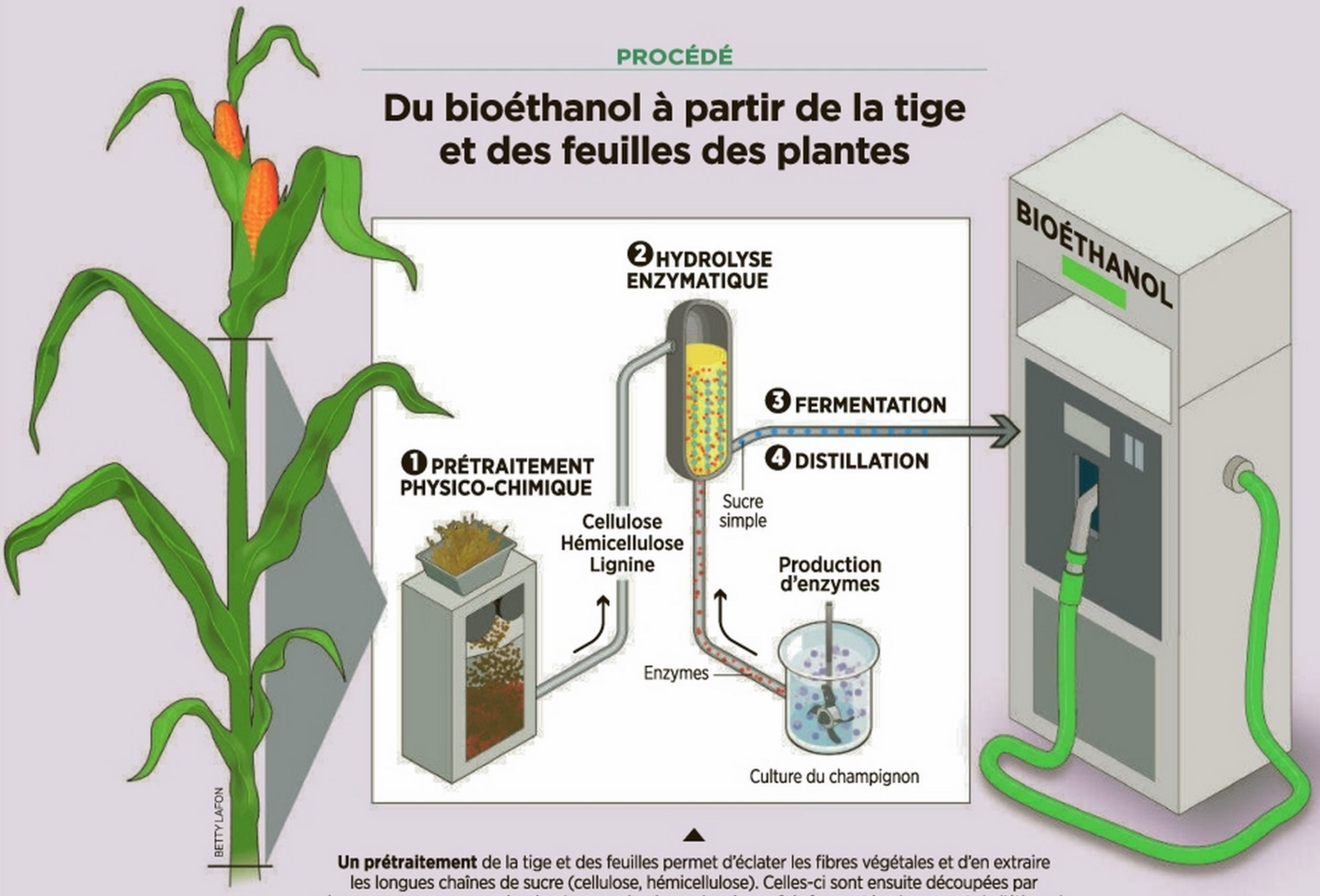
Des sucres beaucoup plus difficiles à extraire

« *Grâce à des innovations d'un bout à l'autre de la chaîne de production, nous avons divisé par huit environ le prix de revient du bioéthanol que nous fabriquons. Nous sommes aujourd'hui compétitifs par rapport au bioéthanol de première génération* », affirme Pascal Barthélemy, directeur général adjoint de l'Ifpen et membre du comité stratégique de Futurol. Un pari qui était pourtant loin d'être gagné. Car c'est une opération complexe et coûteuse que d'extraire du bois ou de la paille de céréale les sucres nécessaires à la production d'alcool.

« *C'est simple à réaliser lorsqu'il*

PROCÉDÉ

Du bioéthanol à partir de la tige et des feuilles des plantes



Un prétraitement de la tige et des feuilles permet d'éclater les fibres végétales et d'en extraire les longues chaînes de sucre (cellulose, hémicellulose). Celles-ci sont ensuite découpées par des enzymes en sucres simples (comme le glucose) qui, une fois fermentés, donneront de l'éthanol.

s'agit de cannes à sucre, de betteraves ou de grains de maïs qui contiennent de grandes quantités d'amidon, un glucide que l'on sépare facilement des autres constituants de la plante, explique Paul Colonna, directeur scientifique à l'Inra. *À partir de là, on sait très bien découper les longues chaînes d'amidon en sucres simples comme le glucose, que l'on fait fermenter pour obtenir de l'éthanol. En revanche, la tige des plantes ne contient pas d'amidon mais de la lignocellulose, une matière beaucoup plus coriace.* » Dans ce cas, c'est donc à un véritable ciment des parois végétales qu'il faut s'attaquer ! La lignocellulose se présente en effet sous la forme d'un réseau composé de longues molécules de sucre (la cellulose et l'hémicellulose) et de lignine qui donne leur rigidité aux plantes.

Un champignon en renfort pour dégrader la cellulose

C'est un traitement de choc, chimique aussi bien que mécanique, qu'il faut administrer à cet enchevêtrement végétal pour ouvrir les fibres de la plante et faire exploser les parois des cellules afin d'en extraire les glucides *(voir l'infographie ci-dessus)*. Il reste ensuite à sectionner ces longues chaînes moléculaires. Cependant, *« du fait de leur structure, elles sont beaucoup plus résistantes que l'amidon »*, souligne Paul Colonna.
Un hasard étonnant a permis de découvrir les meilleurs « ciseaux biologiques » pour cette opération : les enzymes du champignon microscopique *Trichoderma reesei*. C'est pendant la Seconde Guerre mondiale, dans le Pacifique Sud, que l'on a remarqué ce champion de la dégradation de la cellulose, qui malmenait les uniformes en coton des soldats américains. Ses puissantes enzymes ont depuis été dopées par croisement génétique pour améliorer leurs performances. Sur le site de Pomacle-Bazancourt, *« la souche de* Trichoderma reesei

IFPREN

INTERVIEW

NATHALIE ALAZARD-TOUX

DIRECTRICE ÉCONOMIE ET VEILLE À L'IFP ÉNERGIES NOUVELLES, MEMBRE DE L'ALLIANCE NATIONALE DE LA COORDINATION DE LA RECHERCHE POUR L'ÉNERGIE (ANCRE)

« La production de biocarburants pourrait être multipliée par 2,5 en 2030 »

Quelle sera la place des biocarburants au milieu du siècle ?
Tout dépendra des choix politiques. ANCRE a élaboré trois scénarios partageant, en suivant des itinéraires différents, le même objectif : diviser par quatre les émissions de gaz à effet de serre et parvenir à une part du nucléaire dans le mix électrique de 50 %. L'efficacité énergétique est à la base des trois scénarios : moteurs consommant 2 l/100 km voire moins, utilisation des transports en commun, nouveaux usages de la voiture comme le covoiturage ou l'auto-partage. On peut ensuite estimer la consommation en se basant sur le volume actuel de biocarburant de première génération, soit 7 % des carburants produits. Dans le scénario le plus favorable, l'énergie consommée dans le secteur du transport en 2050 provient, à 40 % de biocarburants — liquides de première et deuxième générations (voire de troisième à base de micro-algues), et gazeux avec le biogaz. Le scénario le plus défavorable abaisse ce chiffre à 10 %. L'augmentation de la part de biocarburants est assurée par la deuxième génération à partir de biomasse produite sur notre territoire. Pour le scénario le plus favorable, la production devrait être multipliée par 2,5 en 2030.

Le véhicule électrique représente-t-il une alternative appréciable ?
Là aussi, sa part diffère selon les scénarios. Dans celui où l'on imagine que la part de l'électrique augmente dans tous les secteurs d'activité, on envisage d'atteindre 65 % des ventes en véhicules hybrides rechargeables et tout électriques dès 2030. Dans l'hypothèse la plus faible, cette part est fixée à 25 % des ventes. En 2050, la consommation d'essence et de gazole se limite à une partie du transport de marchandises et aux véhicules hybrides rechargeables.

Peut-on vraiment diviser par deux la consommation dans les transports ?
L'effort est immense, et c'est aux politiques et à la société de décider de son ampleur en matière d'investissements publics et privés, d'incitations fiscales, de taxation des émissions de gaz à effet de serre. L'enjeu est de réduire considérablement la part des importations de pétrole et de gaz en visant jusqu'à 75 % d'indépendance énergétique.

Propos recueillis par Loïc Chauveau

sélectionnée par Futurol est cultivée au sein même de l'usine afin de recueillir ses enzymes, ce qui nous permet de réduire les coûts », précise Paul Colonna.

La pulpe de betterave et les herbacées aussi…

Autre avantage : le cocktail enzymatique mis au point par le programme français s'attaque aussi bien au bois qu'à la paille de céréale, ou encore à la pulpe de betterave, sans oublier les herbacées, tel le miscanthus. « *Notre procédé peut donc être adapté quel que soit le bassin de production dans lequel l'usine sera implantée* », ajoute Paul Colonna. Un atout essentiel, sachant que les ressources en biomasse sont variables selon les pays et les régions.

Sur notre territoire, 4 millions de tonnes de paille de céréale seraient disponibles pour la production de biocarburant. « *Ce chiffre, qui reste à affiner, tient compte des besoins en litière animale ainsi que de la restitution à la terre d'une partie de cette biomasse pour nourrir les sols* », précise Hubert Boizard. « *Les ressources forestières sont plus difficiles à estimer*, poursuit-il. *Mais quoi qu'il en soit, ces volumes ne seront pas suffisants pour alimenter la filière. Il faudra cultiver en complément des plantes énergétiques comme le miscanthus* ». Cette graminée originaire d'Asie a déjà fait son apparition dans les campagnes françaises et pourrait gagner du terrain. Pérenne, elle présente l'avantage de repousser spontanément chaque année sans nécessiter beaucoup d'engrais ni de pesticides. « *Selon les saisons, une usine pourra être alimentée en alternance par différentes sources de biomasse*, prédit Hubert Boizard. *Pour minimiser les émissions de CO_2, l'idéal serait de favoriser un approvisionnement local.* » C'est le choix qui a été fait dans le cadre du projet Futurol. Après analyse du cycle complet — du champ à la combustion dans un véhicule —, une réduction de 80 % des émissions de gaz à effet de serre a été mesurée par rapport aux carburants fossiles — mieux que les 60 % exigés par l'Europe pour les biocarburants de deuxième génération d'ici à 2018. Reste à savoir si une utilisation raisonnée des ressources agricoles et forestières sera mise au service de ce carburant vert, si prometteur. ■

Audrey Boehly

AGENDA

un sommet crucial sur le climat. Jusqu'à 25 000 délégués sont attendus pour 21e conférence des parties de l'ONU (COP 21) sur le climat qui se tiendra à Paris du 30 novembre au 11 décembre 2015, sur le site du Bourget. 195 pays tenteront à nouveau de signer un accord pour limiter le réchauffement climatique. 40 000 à 50 000 personnes sont attendues.

Le seul insecte connu en Antarctique livre ses secrets

Après le décryptage du génome de « Belgica antarctica », on comprend mieux comment ce moucheron s'est adapté à des conditions de vie extrêmes.

RICHARD E. LEE JR

Long de 6 mm, le diptère adulte ne vit que 10 jours.

JUSQU'ICI, C'EST le seul insecte répertorié en Antarctique et l'on vient de décrypter son génome. *Belgica antarctica* emprunte son nom de genre à l'expédition antarctique belge de la fin du XIXe siècle au cours de laquelle ce diptère a été découvert. « *L'hypothèse est que l'ancêtre de cet insecte est resté bloqué sur ce continent lorsque la chaîne montagneuse reliant la péninsule à l'Amérique du Sud s'est effondrée, il y a 33 millions d'années* », relate Anna-Sophie Fiston-Lavier, l'un des auteurs du séquençage du génome, chercheuse à l'Institut des sciences de l'évolution de l'université de Montpellier (Isem). L'insecte n'a pas la vie facile et intrigue forcément. Débarrassé d'ailes, inutiles sur ces terres balayées par les vents, Belgica affronte des milieux mélangeant l'eau douce provenant de la fonte de la neige et la forte salinité des embruns marins, l'exposition à un intense rayonnement ultraviolet et des températures extrêmement basses. Les larves ont besoin de deux ans pour se développer complètement « *et elles ont cette capacité incroyable de perdre près de la moitié de leur poids en eau pour éviter de geler* », poursuit Anna-Sophie Fiston-Lavier. Les adultes ne vivent qu'entre sept à dix jours, soit peu de temps pour se rencontrer, copuler et produire des œufs. Des expéditions sont aujourd'hui à la recherche d'autres espèces d'insectes, avec la certitude de voir s'agrandir cette singulière famille. ■ **Loïc Chauveau**

« Plus il fait froid, plus petit est le génome »

« Le génome de *Belgica antarctica* est extrêmement compact. Avec 99 millions de bases, c'est le plus petit génome d'insecte jamais découvert. Nous pensons que cette petite taille pourrait avoir un lien avec l'adaptation aux conditions extrêmes. Elle pourrait permettre à la machinerie moléculaire d'avoir accès à l'information plus rapidement et ainsi à l'animal de répondre plus rapidement à un stress. Il semble ainsi exister une corrélation entre la taille d'un génome et le climat. Avec ce moucheron, on constate que plus les températures sont basses, plus le génome est petit. La description de ces mécanismes devrait permettre à terme de mieux connaître la façon dont les espèces s'adaptent à leur milieu, y compris la nôtre qui va affronter des changements climatiques. »

COURTESY A. S. FISTON-LAVIER

Anna-Sophie Fiston-Lavier, chercheuse à l'Institut des sciences de l'évolution (université de Montpellier).

La vie foisonne sous la glace...

À 800 mètres sous la calotte glaciaire, 400 lacs d'eau douce s'étendent sur le plancher de l'Antarctique. Une équipe américaine vient de révéler que la vie s'y est adaptée, dans l'eau comme dans les sédiments situés en dessous. Elle a collecté dans le lac Whillans des échantillons d'eau et de sédiments qui ont révélé plusieurs dizaines d'espèces de bactéries et archées (organismes sans noyaux) qui se nourrissent des éléments minéraux puisés dans la roche.

...et dans la mer

Le Comité scientifique pour la recherche en Antarctique vient d'achever son état des lieux : les eaux océaniques bordant le continent austral abritent quelque 9000 espèces. Elles ont toutes été décrites dans un atlas inédit. http://atlas.biodiversity.

15 minutes, c'est le temps dont dispose le photographe avant que son matériel ne soit gelé.

Erigée sur du permafrost, Yakoutsk a un sous-sol qui ne dégèle jamais.

Par -40 °C, faire son marché est une épreuve que les habitants de cette cité sibérienne surmontent en se réfugiant fréquemment dans des lieux chauffés.

Yakoutsk, ville du froid extrême

Le Muséum expose sur les grilles du Jardin des Plantes, à Paris, les clichés de Steve Iuncker, lauréat 2013 de son prix photo.

FIGÉE PAR LA GLACE dans un décor menaçant, sous un ciel qui a perdu le souvenir même du soleil, la ville est sillonnée par de fugitives silhouettes : engoncés dans leurs fourrures, ses habitants défient la morsure du gel. Nous sommes à Yakoutsk, cité la plus froide du globe. Perdue au nord de la Sibérie orientale (Russie), elle affronte jusqu'à -50 °C de température, et vit un hiver qui ne relâche jamais son emprise. L'ancien fort cosaque aux entrailles truffées de diamants, peuplé aujourd'hui par 270 000 irréductibles Sibériens, figure dans le périple entamé en 2013 par Steve Iuncker à la rencontre des « villes extrêmes », marquées par des conditions climatiques, environnementales ou sociales hors du commun.

Ce photographe suisse a remporté, parmi 70 candidats, le prix photo du Muséum 2013 — dont *Sciences et Avenir* est partenaire — doté de 10 000 € et couronnant un projet centré sur les relations homme/nature. De Tokyo, la plus peuplée à Ahwaz (Iran) la plus polluée, en passant par Yakoutsk la plus froide, son objectif le conduit à capter les ressorts qui tiennent les hommes cloués à des lieux apparemment si hostiles. ■ **Andreina De Bei**

Photos : Steve Iuncker, Agence VU

PARTENARIAT SCIENCES AVENIR

Exposition du 9 octobre au 1er février 2015.

Jean-Noël Mouret, Folio, 388 p., 9,40 €

Darwin

L'équipage du *Beagle* le surnomma d'abord « *L'Attrapeur de mouches* », puis « *Cher philosophe* ». Son père pensait qu'il ne tiendrait pas le choc du voyage. Mais Charles Darwin (1809-1882) fit le tour du monde, amassa des collections géologiques et zoologiques extraordinaires, remplit un journal d'observations légendaire puis élabora une théorie si subversive qu'elle mit à bas les dogmes religieux et scientifiques de son époque. Jean-Noël Mouret dresse ici le portrait de Dr Darwin et M. Charles, « *de l'étudiant en théologie à l'agnostique convaincu, du voyageur audacieux traversant les Andes à dos de mule au vieux sage retiré dans son village du Kent, du rationaliste intransigeant à l'hypocondriaque abusé par des charlatans* ». Et dépeint un conformiste, révolutionnaire malgré lui, à la fois paisible et schizophrène. On croise le chimiste Thomas Charles Hope, le paléontologue Richard Owen, le géologue Charles Lyell ou la féministe et malthusienne Harriet Martineau. On sourit avec son mémo « Se marier ou pas » où il pèse la question en termes scientifiques. On découvre pourquoi il se résigna à confier une partie de ses collections au British Museum et non à son rival parisien. Cette biographie de l'homme universel et intime, très réussie, donne envie de relire les écrits de Darwin. ■ **Rachel Mulot**

INVENTER DES PLANTES

Les Carnets du paysage, n° 26, Collectif, Actes Sud, 240 p., 26 €

Quels sont les liens qui se sont établis entre « l'invention » de nouvelles plantes par l'homme et le paysage qu'il habite ? Depuis la nuit des temps nous avons sélectionné et acclimaté des végétaux, en interaction avec l'environnement. Avec quelles implications ? C'est la réflexion proposée par cette stimulante revue aux multiples contributions. ■ **A. De B.**

ALCHIMIE. EAU, TERRE, SEL

Photos Thierry Vezon. Texte Olivier Boura. Éditions Hesse, 45 p., 18 €

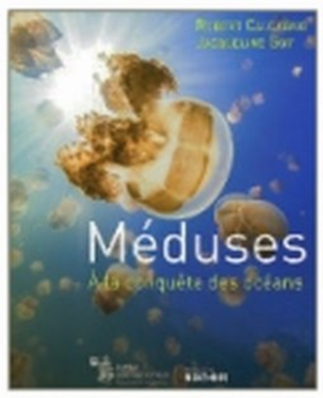
Façonnés par l'eau, la terre et le sel, les paysages de Camargue photographiés depuis un ULM par Thierry Vezon prennent l'allure de tableaux abstraits. Le regard amoureux du naturaliste et l'assurance subtile de ses compositions sont ici mis en valeur par de courts textes évocateurs et une qualité d'impression impeccable. ■ **A. de B.**

LE POU

Élise Gravel, collection « Les petits dégoûtants », Le Pommier. 32 p., 6,90 €

Beurk... Que des petites bêtes gluantes et rampantes ! Et pourtant, elles ont de quoi susciter notre curiosité. Saviez-vous que le pou ne peut ni voler ni sauter ? Dans cette nouvelle collection des éditions du Pommier (3 autres titres disponibles : *Le Ver* ; *La Limace* ; *Le Rat*), l'auteure nous entraîne avec humour dans l'univers méconnu de ces bestioles mal-aimées, qui en deviendraient presque attachantes. Dès 5 ans ■ **A. B.**

Méduses. À la conquête des océans



Robert Calcagno et Jacqueline Goy, Éditions du Rocher, 160 p., 19,90 €

Avant d'endosser le rôle d'êtres urticants, envahissants et repoussants, les méduses sont des miracles d'élégance, de transparence et d'exubérance. C'est ce qui ressort du très pédagogique ouvrage de deux « *médusologues* » réputés de l'Institut océanographique de Monaco. Les photos spectaculaires et des infographies explicatives appuient un discours scientifique décrivant la profusion de leurs formes et couleurs, la diversité de leurs cycles de vie, l'étrangeté de leurs mœurs. Bref, il faut revoir la réputation des cnidaires à la hausse, ces animaux qui prospèrent suite au bouleversement des équilibres écologiques océaniques, à cause de l'homme. Les méduses, en effet, font partie des rares animaux marins capables de résister aux pollutions et de profiter de la surexploitation des océans. Preuve que leur aspect fascine et inspire, le Muséum d'histoire naturelle du Havre republie dans un autre ouvrage, *Méduses*, les planches de Charles-Alexandre Lesueur, le dessinateur qui accompagna les scientifiques lors du voyage aux terres australes effectué de 1800 à 1804 (Éditions du Muséum, 168 p., 59,90 €). Toute l'esthétique des dessins naturalistes des XVIII[e] et XIX[e] siècle. ■ **Loïc Chauveau**

Nos Voies d'espérance

Olivier le Naire, Actes sud, les Liens qui libèrent, 228 p., 18,80 €

Voici le livre qui va nous faire du bien à la rentrée ! Le journaliste Olivier le Naire, galvanisé par la crise économique et climatique et la montée des extrêmes, a mené des entretiens « *avec dix grands témoins pour retrouver confiance* ». Dix humanistes qui ont uni leurs énergies afin d'embrasser les problèmes de notre société. Certains sont des habitués des pages de *Sciences et Avenir* : l'anthropologue Françoise Héritier, l'agronome Pierre Rabhi, le biologiste Pierre-Henri Gouyon ou encore Nicolas Hulot. D'autres viennent du monde de l'économie, de la philosophie, de la littérature, de l'art. Qu'il s'agisse d'éduquer autrement, de réapprivoiser les sciences, de réinventer le travail et la croissance, de combattre les inégalités ou de trouver son identité et sa place dans ce monde, chacun plaide pour des modèles plus efficaces, plus vertueux, plus justes aussi. Le plus fort est que ces modèles existent et fonctionnent déjà, que leur application relève plus de la volonté que de l'utopie. De quoi nous désintoxiquer de la peur et de la morosité ambiante, ne plus confondre réalisme et résignation et regagner en énergie et imagination ! ■ **R. M.**

Opérer les tumeurs du cerveau sans endormir

La chirurgie éveillée permet de dialoguer avec un patient pendant l'opération. Une technique audacieuse pour extraire un gliome sans porter atteinte à des zones cérébrales cruciales. Explications.

Par Marc Gozlan

LE PATIENT EST AU BLOC OPÉRATOIRE et le neurochirurgien vient d'ouvrir la boîte crânienne. Parcourue de vaisseaux sanguins, la surface de la zone du cerveau à opérer apparaît. Il s'agit de retirer une tumeur composée de cellules gliales, ces cellules moins familières au grand public que les neurones, mais qui assurent un rôle de soutien. Devenues cancéreuses, elles migrent le long des fibres neuronales de la substance blanche et forment un tissu tumoral qui s'infiltre lentement, insidieusement, au sein même du cerveau. Son nom : le « gliome diffus de bas grade » (CDGB) *(lire l'interview p. 72)*.

Le neurochirurgien se saisit d'un stylet et applique sur une zone très précise du cerveau une stimulation électrique. Pendant ce temps, un orthophoniste ou un neuropsychologue demande au malade de reconnaître un objet, de compter ou de traduire un mot dans une autre langue... Car ce dernier est éveillé ! Et il ne ressent aucune douleur, le cerveau ne possédant aucun récepteur le renseignant sur son propre état. Le cerveau du patient ignore même qu'on le touche. Le chirurgien peut cependant savoir si la stimulation électrique directe qu'il applique altère le fonctionnement de la zone dont il envisage de faire l'ablation. But de cette « chirurgie éveillée » ? Parvenir à retirer le volume le plus grand possible de ce gliome diffus. Et retarder la récidive. Une opération qui peut également être pratiquée, plus rarement, pour d'autres formes de lésions comme les cavernomes (malformations vasculaires).

L'IRM ne montre qu'une partie du gliome diffus

C'est souvent lors d'un examen IRM (imagerie par résonance magnétique), après une crise d'épilepsie chez une personne d'une trentaine ou quarantaine d'années, par ailleurs absolument saine, qu'on découvre la tumeur. En perturbant l'activité de neurones à proximité, elle peut en effet déclencher des crises. Mais il arrive aussi que le diagnostic soit établi suite à une IRM prescrite pour un traumatisme crânien ou de banales migraines. « *Malgré les progrès réalisés en neuro-imagerie, l'IRM ne montre pas la totalité du gliome diffus. Seulement la partie émergée de l'iceberg* », insiste le Pr Hugues Duffau, responsable du département de neurochirurgie au CHU de Montpellier. Au bloc opératoire, il faut enlever plus de tissu tumoral que sur l'image IRM, en débordant peut-être d'un ou deux centimètres. Et donc réaliser ce qu'on appelle une « résection supra-totale », empiétant sur le tissu cérébral sain. Seule façon de retirer le plus possible de cerveau envahi par la tumeur. D'où l'importance de ce type de chirurgie, qui se développe en neuro-oncologie depuis une quinzaine d'années et dont le Pr Duffau est le pionner mondial.

Avantage majeur : en temps réel et pour chaque patient, le neurochirurgien peut s'assurer qu'il ne détruira pas du tissu cérébral pouvant entraîner un déficit fonctionnel définitif, particulièrement handicapant. Les stimulations électriques à la surface du cerveau (substance grise ou cortex) et aussi en profondeur, dans la

15 %
de l'ensemble des gliomes sont des gliomes diffus de bas grade (GDBG).

Environ 400 à 600
nouveaux cas de gliomes diffus de bas grade (GDBG) sont diagnostiqués en France chaque année.

Une dizaine de centres
opèrent des gliomes diffus en condition éveillée en France.

Pendant l'opération, le patient éveillé réalise des tâches cognitives (compter, reconnaître un objet…) sans ressentir aucune douleur.

substance blanche, créent en effet une « lésion virtuelle transitoire ». *« Pendant quelques secondes, des neurones sont déconnectés. Cela se traduit par une perturbation fonctionnelle de la zone cérébrale en question »*, explique Philippe Metellus, neurochirgurgien à l'hôpital de La Timone, à Marseille. Au point que le patient ne parvient plus à accomplir les tests demandés par l'orthophoniste ou le neuropsychologue. Quand c'est le cas, le chirurgien considère que l'aire stimulée à plusieurs reprises joue un rôle essentiel. Elle ne doit donc surtout pas être retirée, même infiltrée par du tissu tumoral. Dans le cas contraire, quand le patient demeure parfaitement capable de réaliser le mouvement demandé, de parler ou de calculer normalement, l'ablation est possible — quand bien même cette région serait considérée dans les traités de neuro-anatomie comme « inopérable », telle l'aire de Broca (« zone de la parole ») dans l'hémisphère gauche dominant. *« La résection de la tumeur cérébrale est dictée par des limites fonctionnelles,* souligne le Pr Duffau. *Et non par des limites anatomiques, de façon dogmatique et à tort. »*

C'est ainsi que l'on peut aujourd'hui venir à bout de tumeurs particulièrement infiltrantes, tel le CDGB. Du fait de la lente croissance de dernier, les zones « fonctionnelles » infiltrées par la tumeur ont eu le temps de se réorganiser tout autour. Cette formidable plasticité cérébrale explique l'absence totale ou quasi complète de signes neurologiques, pendant dix ou quinze ans. En d'autres termes, le cerveau sait compenser, à proximité de la lésion tumorale et parfois bien plus loin.

Problème, il s'agit cependant d'une bombe à retardement.

« Le taux de déficits neurologiques trois mois après l'opération est inférieur à 1,5 % »
Hugues Duffau, neurochirurgien au CHU de Montpellier

JAMES KING-HOLMES/SPLY/COSMOS

BIOLOGIE

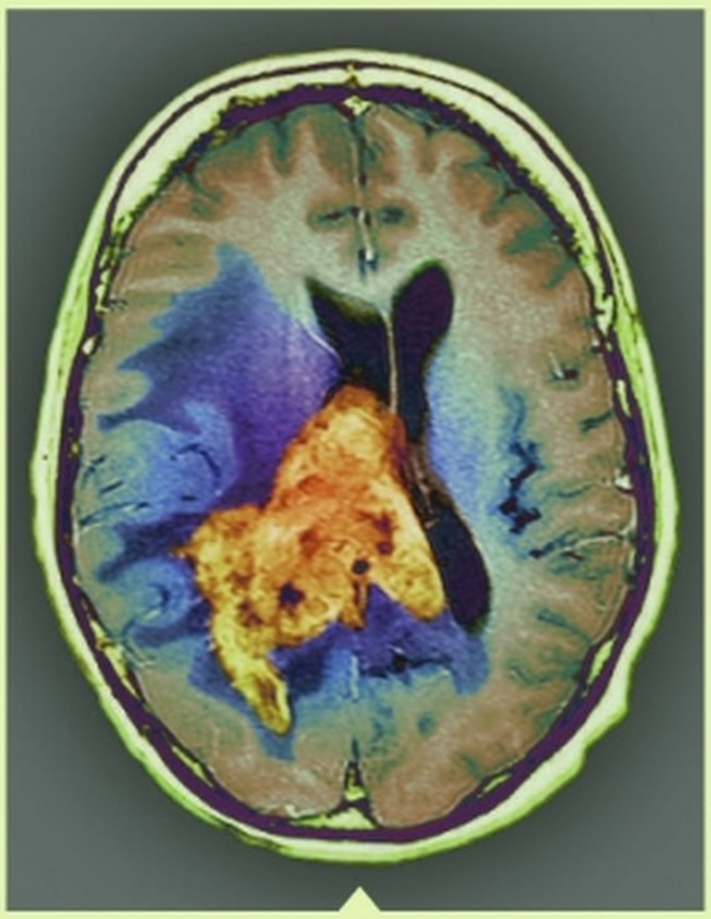
Des tumeurs cérébrales aux origines diverses

Outre les métastases, provenant d'un cancer apparu dans un autre organe, les tumeurs primitives du système nerveux central composent un groupe hétérogène de plus de 140 types. Précisions.

On distingue parmi les tumeurs cérébrales celles qui naissent au sein du système nerveux central (tumeurs primitives du SNC) et les métastases cérébrales qui représentent une localisation au cerveau d'un cancer né dans un autre organe. Les tumeurs cérébrales sont malignes ou bénignes (non cancéreuses). Les tumeurs primitives du SNC représentent un groupe très hétérogène, composé de plus de 140 types. En France, en 2011, le réseau Francim des registres de cancers estimait le nombre de nouveaux cas diagnostiqués de tumeur primitive du SNC à 4 769.

Les glioblastomes

Ce sont les plus fréquents (1500 à 2000 nouveaux cas sont diagnostiqués chaque année en France) et les plus agressifs des gliomes de l'adulte. On peut les traiter par chirurgie, chimiothérapie ou encore radiothérapie. L'identification de biomarqueurs génétiques et biochimiques devrait permettre de développer de nouvelles stratégies thérapeutiques et d'anticiper la réponse aux médicaments. « *Au cours des prochaines années, les traitements tiendront compte des caractéristiques moléculaires spécifiques du patient et de sa tumeur* », explique le Pr Olivier Chinot, oncologue à l'hôpital de La Timone (Marseille).



MEDIAFORMEDICAL

Le glioblastome (en violet sur cet IRM) est la tumeur cérébrale la plus fréquente chez l'adulte.

Le lymphome primitif

Cette tumeur cérébrale maligne (300 nouveaux cas en France chaque année) est composée de lymphocytes (variété de globules blancs). Elle se distingue des autres tumeurs cérébrales malignes par une plus grande fréquence de troubles cognitifs et la rareté des crises d'épilepsie en raison de sa localisation souvent profonde et diffuse. Elle a vu son pronostic grandement amélioré grâce à la chimiothérapie. « *Une rémission complète est obtenue dans la majorité des cas, même si l'évolution est souvent marquée par une rechute.*

MAYO CLINIC - YOUTUBE

En jouant du violon, ce musicien atteint de tremblements gênants (d'origine non tumorale) a pu guider les chirurgiens de la Mayo Clinic (Rochester, États-Unis) vers la zone responsable de son handicap et être opéré avec succès.

▸ Inéluctablement, dans 100 % des cas, le gliome finit par se transformer en une tumeur véritablement maligne à évolution bien plus rapide, contre laquelle le cerveau n'a cette fois pas le temps de réagir. Mieux vaut donc l'opérer le plus tôt possible et en tenant compte de l'organisation fonctionnelle des connexions cérébrales. « *Du fait de cette redistribution de la connectique cérébrale, générée au fil du temps par la tumeur, des patients peuvent bénéficier d'une résection de la tumeur sans conséquence neurologique* », souligne le Pr Duffau. En retirant précocement le plus possible de tissu tumoral, la survenue d'une

Une guérison peut cependant être espérée chez 20 à 30 % des patients », souligne le Pr Khê Hoang-Xuan, chef de service de neurologie à l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière (Paris).

Les tumeurs bénignes

Les méningiomes représentent 32 % des tumeurs primitives du système nerveux central. Cette tumeur, plus fréquente chez la femme, voit aussi son incidence augmenter avec l'âge. Un méningiome peut parfois être révélé par un syndrome démentiel, d'où l'intérêt dans ce cas de réaliser une imagerie cérébrale. Le traitement de référence pour cette tumeur est la chirurgie, quand elle est praticable sans risque fonctionnel majeur.

Les métastases

Dans 20 % des cas, l'origine du cancer primitif responsable de la métastase cérébrale n'est pas retrouvée malgré un bilan complet. Par ailleurs, dans 20 % des cas, la découverte de métastases cérébrales précède celle du cancer.
« *Certains cancers comme ceux du poumon, du sein ou du mélanome sont de grands pourvoyeurs de métastases cérébrales. La chirurgie est particulièrement utile pour le traitement des métastases de petite taille, inférieure à 3 cm* », explique le Pr Philippe Metellus, neurochirurgien à l'hôpital de La Timone.

L'AVIS DE L'EXPERT

COURTESY H. DUFFAU

HUGUES DUFFAU

RESPONSABLE DU DÉPARTEMENT DE NEUROCHIRURGIE AU CHU DE MONTPELLIER

« Un dépistage du gliome serait envisageable »

Faudrait-il envisager un dépistage systématique du gliome diffus, qui touche environ une personne sur 100 000 par an en France ?
La question se pose. Il existe un stade où le gliome, visible à l'IRM, n'entraîne encore aucun trouble. Avec une croissance d'un gliome non traité de l'ordre de 4 mm de diamètre par an, cette phase silencieuse peut être estimée à environ quatorze ans. Un dépistage, tous les cinq ans, par une IRM systématique serait donc envisageable dans une population sélectionnée (de 18 à 45 ans).

Le traitement en serait-il plus efficace ?
Le traitement sera d'autant plus efficace que le diagnostic est précoce. Il sera alors possible de réaliser une résection supra-totale [une ablation] avec un minimum de risque neurologique fonctionnel.

Quel est le rapport coût/efficacité ?
À 120 € l'IRM, faire passer cet examen à 10 000 personnes reviendrait à 1,2 million d'euros et permettrait de dépister quatre gliomes silencieux. Cette stratégie est efficace économiquement, un traitement précoce permet en effet de gagner au moins trois années de vie*. À l'avenir, on pourra même réduire les coûts grâce à l'utilisation de biomarqueurs qui offrirontde mieux détecter les patients les plus à risque de développer un gliome.

Propos recueillis par M. G.

* Le coût annuel d'un patient est estimé à 90 000 € environ, daprès une étude parue dans *Cancer.* 2014 Jun 15;120(12):1758-62.

tumeur hautement maligne est ainsi retardée.
Après l'intervention, surviennent toujours quelques troubles fonctionnels, plus ou moins dérangeants, heureusement transitoires, qui affectent la sensibilité, la motricité, la parole, l'attention, la mémoire, les émotions. « *Le taux de déficits neurologiques trois mois après l'opération est inférieur à 1,5 % et les crises d'épilepsie, qui étaient rebelles au traitement antiépileptique, sont contrôlées dans 80 % des cas* », affirme le Pr Duffau. Encore plus réconfortant, de récentes études* montrent que cette chirurgie permet d'augmenter la survie (de trois à sept ans, voire quinze ans) mais aussi la qualité de vie. Et ce, même quand l'intervention s'attaque à des zones du cerveau considérées *a priori* comme intouchables. Selon le Pr Duffau, nous assistons là à un « *virage conceptuel* », à une « *nouvelle philosophie* » dans le traitement de ces tumeurs *(lire l'encadré)*. Il est possible, en effet, de bénéficier quelques années plus tard d'une seconde, voire d'une troisième intervention si nécessaire en cas de récidive, ce que les patients acceptent volontiers. Au total, « *la chirurgie éveillée est le traitement le plus sûr et le plus efficace des gliomes diffus* ». Dans les centres experts en chirurgie neuro-oncologique, elle devrait devenir une procédure de routine, comme aux États-Unis (San Francisco), en Espagne (Madrid), en Italie (Milan) ou aux Pays-Bas (Amsterdam). C'est seulement lorsque cette chirurgie n'est pas envisageable qu'un traitement médical, reposant sur la chimiothérapie et/ou la radiothérapie, sera indiqué. ■

LE + NUMÉRIQUE

- Exérèse par chirurgie éveillée d'un gliome diffus de bas grade dans l'aire de Broca : **sciav.fr/812chireveil**
- Chirurgie éveillée d'une tumeur cérébrale : **sciav.fr/812tumeur**
- Un reportage consacré à la chirurgie éveillée du cerveau : **sciav.fr/812csante**

(*) **Impact of intraoperative stimulation brain mapping on glioma surgery outcome : a meta-analysis.** De Witt Hamer PC, Robles SG, (...) *J Clin Oncol.* 2012 Jul 10; 30(20):2559-65.

French Réseau d'Étude des Gliomes. Spontaneous and therapeutic prognostic factors in adult hemispheric World Health Organization Grade II gliomas: a series of 1097 cases : clinical article *Neurosurg.* 2013, Jun;118(6):1157-68.

Epileptic seizures in diffuse low-grade gliomas in adults. Pallud J, Audureau E, Blonski (...). *Brain,* 2014 Feb;137(Pt 2):449-62.

Peut-on apprécier la viande de gibier ?

Chevreuil, faisan, perdrix... Ces viandes issues de la chasse possèdent des atouts nutritionnels reconnus qui les distinguent des animaux d'élevage.

LONGTEMPS SOURCE VITALE pour l'alimentation, le gibier est aujourd'hui considéré sous nos latitudes comme un simple plaisir gastronomique, dont la consommation demeure souvent limitée aux fêtes de fin d'année. Pourtant, la France est un pays giboyeux qui offre un large « tableau de chasse ». Figurant au troisième rang européen en surface de chasse (1,6 million d'hectares) derrière l'Espagne et la Suède , elle est — de loin — la première par le nombre de chasseurs (1,3 million) . De plus, depuis la loi sur le développement des territoires ruraux de juin 2006, la vente de gibier n'est plus uniquement limitée aux trois derniers mois de l'année dès lors qu'il a été abattu licitement en période de chasse. Et pour ceux que cette activité ne rebute pas, ces aliments possèdent des atouts nutritionnels reconnus et ne sont pas concernés par les vicissitudes de l'élevage intensif. « *La viande de gibier est savoureuse et diététique [...]. C'est pourquoi différentes mesures doivent accompagner une meilleure valorisation des filières de commercialisation en circuits courts et un renforcement des contrôles sanitaires* », estimait Thierry Damien, rapporteur d'un avis du Conseil économique social et environnemental sur l'alimentation, rendu en janvier (1). La sécurité alimentaire oblige en effet à une traçabilité drastique d'un animal, que sa provenance soit sauvage ou d'élevage (2).

Loin de se résumer à quelques viandes faisandées, le gibier aurait donc tout intérêt à sortir de temps en temps du bois pour gagner nos assiettes.

0,3 kg/ an/habitant

La consommation française issue du marché du gibier, loin derrière certains pays comme la Finlande (leader avec 9 kg/an/habitant).

DORLING KINDERSLEY/UIG/AGE FOTOSTOCK

FAISANDAGE Pratique consistant à laisser reposer le gibier mort quelques jours pour développer la saveur de sa viande et l'attendrir. Les germes de l'intestin envahissent les tissus et décomposent les protéines, engendrant des substances qui, à la longue, sont toxiques. La commercialisation de viande faisandée est aujourd'hui interdite.

VENAISON Chair des gros gibiers, comme le sanglier, la biche ou le chevreuil. La chair de petit gibier (lièvre, lapin de garenne) est appelée basse venaison.

ACIDES GRAS POLYINSATURÉS Les acides gras sont dits saturés, monoinsaturés ou polyinsaturés selon qu'ils possèdent ou non des insaturations, c'est-à-dire des doubles liaisons chimiques entre atomes de carbone.

De nombreuses espèces plus ou moins domestiquées

Le gibier est défini comme l'ensemble des animaux que l'on chasse. Selon la réglementation européenne, il regroupe les animaux sauvages, mais aussi ceux qui vivent en territoire clos dans des conditions de liberté similaires à celles du gibier « sauvage ». En France, la chasse de 23 espèces de mammifères et de 59 espèces d'oiseaux — sur les 650 espèces animales composant la faune sauvage — est autorisée (3).

Une viande pauvre en graisses saturées...

Qu'ils soient nés sauvages ou issus d'élevage, ces animaux ont une activité physique intense, qui se traduit par une teneur très faible en graisses, comparée à celle de leurs cousins domestiqués. Ainsi, la perdrix est trois fois moins grasse que le poulet et le lièvre six fois moins que le lapin. Quant aux venaisons, le chevreuil et la biche sont 25 fois moins gras que l'agneau et le bœuf. La viande la plus maigre est celle du faisan avec moins d'1 % de lipides, et la plus grasse, celle du sanglier avec 4,3 % de lipides, trois fois moins cependant que le porc. Ces graisses présentent en outre un bon profil nutritionnel car elles sont composées à hauteur de 50 % d'acide gras polyinsaturés et monoinsaturés. Ces acides gras sont dits essentiels car ils sont nécessaires au bon fonctionnement de l'organisme (4).

...mais attention aux préparations

Il faut, en revanche, faire attention aux sauces souvent grasses qui accompagnent ces viandes maigres. Méfiance aussi vis-à-vis des préparations charcutières (saucissons, pâtés, fromage de tête), dont la forte teneur en graisses saturées et en sel est mauvaise pour le cœur et les vaisseaux. Une étude menée en 2012 à Harvard (États-Unis)a ainsi montré que la consommation quotidienne de 100 g de charcuterie était associée à une augmentation de 21 % du risque de survenue de maladies cardio-vasculaires et de 16 % du risque de cancers (5).

De bonnes sources de protéines et de minéraux

Plus musclés, ces animaux ont un taux de protéines en moyenne 20 % plus élevé que celui des espèces domestiquées cousines. Pour 100 g de viande, le sanglier et le porc fournissent respectivement 20,6 g et 16,6 g de protéines, la biche et le bœuf 29,4 g et 20 g. La viande de ces animaux est également plus riche en certains minéraux (fer, potassium) et oligo-éléments (zinc). Elle est en revanche plus pauvre en sodium, Mais nos apports en cet élément sont de toute façon trop importants et devraient être limités à 1500 mg par jour.

Mal cuit, le gibier peut transmettre l'hépatite E...

L'hépatite E est une inflammation du foie habituellement bénigne. En France, ce virus se transmet principalement par la viande contaminée consommée crue ou insuffisamment cuite, en particulier les viandes de sanglier, de cerf ou encore les saucisses de foie de cochons sauvages. 200 à 300 nouveaux cas d'hépatite E surviennent chaque année en France (6). À noter aussi que des tests effectués en Allemagne ont montré que près de 40 % des sangliers chassés en Saxe dépassent la norme de radioactivité fixée à 600 becquerels par kilo. En France, seuls de rares échantillons, dans le nord-est de la France, montrent une contamination supérieure à cette norme. Une consommation ponctuelle serait donc sans risque selon l'IRSN.

...et provoquer des crises de goutte

Les viandes de gibier sont riches en acide urique, un produit de dégradation des purines qui sont des constituants des cellules. Lorsqu'il est présent en excès, cet acide peut se concentrer dans les articulations. Il provoque alors des douleurs inflammatoires vives. D'où la nécessité de ne pas consommer en excès du gibier. ■

Marie-Noëlle Delaby

(1) « Favoriser l'accès pour tous à une alimentation de qualité, saine et équilibrée. », rapport de Thierry Damien, Janvier 2014,. Les avis du Conseil économique social et environnemental.

(2) Loi n° 2005-157 du 23 février 2005 relative au développement des territoires ruraux

(3) Site Internet de l'Inventaire national du patrimoine naturel : www.inpn.mnhn.fr

(4) Chasse et nutrition, étude réalisée sous la direction du professeur Pierre-Henri Ducluzeau pour la Fédération nationale de chasseurs, août 2013

(5) « Red meat raises red flags », *Harvard gazette*, mars 2012.

(6) Questions/réponses sur le risque d'hépatite virale E, site du ministère des Affaires sociales et de la Santé : www.sante.gouv.fr, avril 2011.

PIERRE-HENRI DUCLUZEAU Médecin nutritionniste (CHU de Tours)

Des viandes pauvres en toxiques

« L'intérêt des viandes de gibier est qu'elles sont pauvres en toxiques, comme les résidus de pesticides ou les métaux lourds qui sont stockés dans les graisses. On peut donc en consommer sans problème une à deux fois par semaine en alternance avec de la viande d'élevage, en limitant les préparations charcutières à moins de 40 g par prise. »

Hervé Chneiweiss, neurologue

La science en tête

Médecin, chercheur, membre du Comité d'éthique… Ce spécialiste du cerveau mène ses multiples activités avec un égal enthousiasme.

TOUJOURS TRÈS OCCUPÉ, ce spécialiste du cerveau, grand amateur d'art contemporain, trouvera-t-il le temps d'accrocher sur les murs de son bureau des dessins « endormis » dans un carton ? Plus de dix ans que ces œuvres originales de Robert Combas ou Claude Viallat, créées à sa demande pour les 20 ans de la revue *Médecine/sciences* de l'Inserm, n'ont pas vu la lumière du jour. Alors, oui, à l'occasion d'une photo pour *Sciences et Avenir*, cet homme chaleureux promet de manier dès que possible crochets X et marteau pour décorer son espace avec vue sur les interminables travaux du campus de Jussieu. Mais cette activité imprévue risque de surcharger une barque déjà bien lourde ! Car Hervé Chneiweiss, bourreau de travail assumé, cumule plusieurs casquettes pour le moins « chronophages ».

Président du comité d'éthique de l'Inserm, membre du Comité consultatif national d'éthique (CCNE), directeur de recherche du laboratoire Neurosciences Paris Seine — soit la gestion de 15 équipes —, médecin neurologue toujours en activité à l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière (Paris), rédacteur en chef de *Médecine/sciences*… Sans oublier l'écriture d'ouvrages, la préparation de colloques et la supervision de plusieurs thèses. Mais quelques jours plus tard, la promesse est tenue : les dessins sont exposés. Car ce quinquagénaire n'est pas du genre à se laisser déborder. Son secret ? Exécuter chacune de ses nombreuses tâches l'une après l'autre, en s'y consacrant à 100 %. Sans doute ne pouvait-il pas non plus refuser… « *J'ai un côté "petit soldat"* », reconnaît-il. Mais Hervé Chneiweiss est aussi de la trempe de ceux qui ont appris à combattre les positions idéologiques relatives, par exemple, au statut de l'embryon, ou à la recherche sur les cellules souches. Avec le temps, il a ainsi appris à conduire et surtout à dépassionner les débats sur ces aspects complexes menés en France depuis trente ans. Au CCNE, ce sont les multiples méandres de la fin de vie qui l'occupent. Boosté par la science, une drogue qu'il consomme sans aucune modération, au service de sa curiosité insatiable.

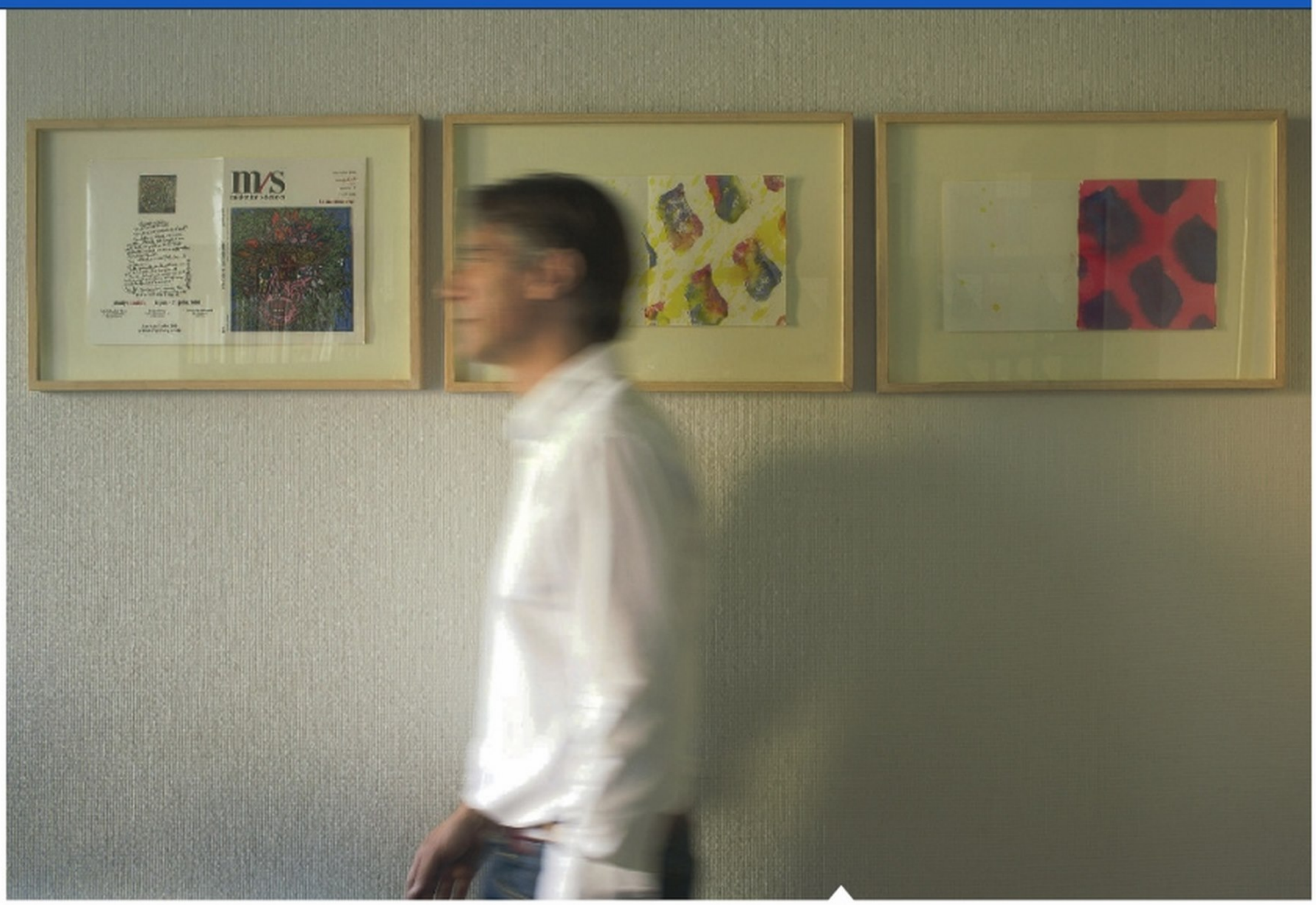
BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR

BIO EXPRESS

1957 Naissance à Paris
1984-1988 Doctorat en sciences et en médecine, spécialité en neurologie
1990 Consultant en neuroéthique à l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière (Paris)
2000-2002 Conseiller technique pour les sciences du vivant au ministère de la Recherche
Depuis 2006 Rédacteur en chef de la revue *Médecine/sciences*
2007 Nommé directeur de recherche au CNRS.
2009-2013 Dirige l'unité Plasticité gliale et tumeurs cérébrales à l'hôpital Sainte-Anne (Paris)
2013 Président du comité d'éthique de l'Inserm et membre du Comité consultatif national d'éthique
2014 Directeur du centre Neurosciences Paris-Seine (Inserm/CNRS/UPMC)

L'obsession de comprendre, partager et rendre compte

Tout a commencé très tôt. Élève brillant d'origine modeste, Hervé Chneiweiss est très vite repéré par le proviseur du lycée Voltaire, dans le XI[e] arrondissement de Paris, qui l'oriente vers le prestigieux lycée Louis-Le-Grand. Suivra un parcours impeccable, direction la faculté de médecine de Paris, même si son père rêvait pour lui de Polytechnique. Mais peu attiré par les hautes sphères de l'X et influencé par le dévouement de son médecin de famille, il s'oppose dès 17 ans au choix paternel, soucieux d'être avant tout utile aux autres. Très vite, l'idée de soigner le cerveau, avec ses 100 milliards de neurones et ses cellules gliales dix fois plus nombreuses, s'impose comme une évidence. Il veut non seulement comprendre comment cet organe fonctionne, anticipe ou corrige mais aussi rendre



BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR

Amateur éclairé d'art contemporain
Hervé Chneiweiss a accroché dans son bureau des œuvres originales créées à sa demande pour les 20 ans de la revue *Médecine/sciences* dont il est rédacteur en chef.

compte de cette complexité. Un doctorat de médecine et un autre de sciences lui permettent dès lors d'exercer avec brio ses recherches, en particulier sur les tumeurs cérébrales, les glioblastomes. « *Un esprit ouvert, très cultivé, avec une impressionnante capacité de travail* », confie Jacques Glowinski, l'un de ses mentors, pionnier de la neurobiologie et de la neuropharmacologie en France, aujourd'hui professeur au Collège de France. Un détour de deux ans par le ministère de la Recherche ne lui fera pas oublier la paillasse. « *Il sait mettre les mains dans le cambouis* », souligne Catherine Dargemont, directrice de recherche CNRS à l'institut Jacques-Monod, amie de longue date. Et « *rester ancré dans la réalité en poursuivant son activité de neurologue hospitalier* », confie le Pr Alexis Brice, directeur de l'Institut du cerveau et de la moelle épinière.

Qu'il s'agisse de ses recherches sur le cerveau, « *cette extraordinaire machine qui nous relie au monde* », d'éthique, qui « *ne doit pas devenir une tour de Babel institutionnalisée* » ou de science, « *ce moteur d'émancipation* », tout le passionne. Sans oublier la politique de la recherche, dans laquelle il est très impliqué depuis le début du mouvement Sauvons la recherche. Mais ce qu'il affectionne par dessus tout, c'est aller au cœur de la réflexion, seul parfois, mais toujours avec les autres pour échanger, anticiper, identifier les points de tension entre savoir et pouvoir. « *C'est un homme de passion, d'action et de réflexion, toujours soucieux de l'intérêt collectif,* insiste le Pr Alexis Brice. *Ce n'est pas un chercheur "bling bling"* ». « *Il ne fait pas dans le scoop et n'a pas un ego surdimensionné* », renchérit Catherine Dargemont. Et l'homme modeste et pudique, qui avoue avoir un peu hésité avant de donner son feu vert à cette rencontre, se révèle finalement très prolixe. Tant sur le cerveau « *qu'on réparera sans doute un jour mais jamais à l'identique* » que sur la liberté de penser. Ceux qui le côtoient saluent unanimement son aptitude à dénouer les conflits, sa générosité, sa capacité d'attention. Et tous s'accordent à dire que ce bavard sait surtout très bien écouter. Pour mieux comprendre le monde. ■ **Sylvie Riou-Millot**

« C'est un homme de passion, d'action et de réflexion, toujours soucieux de l'intérêt collectif »
Pr Alexis Brice, directeur de l'Institut du cerveau et de la moelle épinière

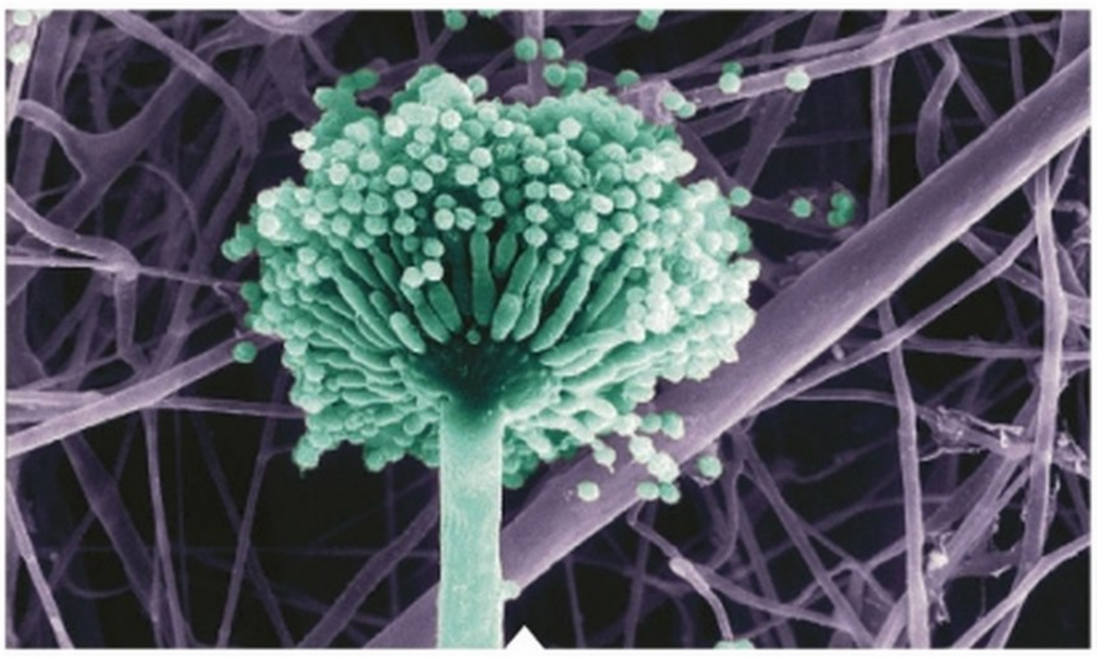
Revue de presse

Par le Dr Pierre Miquel

50 %

d'augmentation du risque de maux de tête à répétition (au moins 10 épisodes par mois) pour les femmes ménopausées. Un chiffre issu d'une enquête conduite auprès de 3600 femmes âgées de 35 à 65 ans. Les mécanismes de ces céphalées seraient liés aux répercussions du déclin du taux d'œstrogènes, tant sur le plan hormonal, par le biais du cortisol, que neurologique, par un impact sur le nerf crânien trijumeau.

Medscape, 26 juin 2014.



SGO/BSIP

Une moisissure (« Aspergillus niger ») vue au microscope électronique.

ENDOCRINOLOGIE

Des troubles psychologiques associés au diabète

Les données disponibles montrent que 7 % des diabétiques âgés de plus de 18 ans souffrent de dépression, et que 30 à 40 % des 15-30 ans présentent des troubles du comportement alimentaire (boulimie). La reconnaissance de ces pathologies associées et leur prise en charge sont indispensables pour mieux prévenir les complications et améliorer la vie de ces malades.

Jama, 10 juillet 2014.

PNEUMOLOGIE

Les moisissures font le lit de l'asthme à l'école

Environ deux tiers des enfants asthmatiques souffrent d'un asthme allergique (lire *S. et A.* n° 807, mai 2014). Les moisissures, qui peuvent être la source d'une contamination de l'air intérieur, jouent un rôle dans son apparition, mais il est difficile de quantifier leur présence et d'identifier lesquelles sont en cause. Une vaste enquête a été menée à Taïwan pendant un an dans 44 établissements scolarisant 6000 enfants âgés de 6 à 15 ans. L'examen microscopique des spores dans les prélèvements d'air des salles de classe a montré que la présence de certaines moisissures est significativement associée à des poussées d'asthme chez l'enfant. Les spores incriminées sont celles d'*Aspergillus* et de *Penicillium*, ainsi que celles de champignons basidiomycètes *(lire aussi p. 60)* que l'on retrouve également sous nos latitudes. La responsabilité de ces moisissures paraît d'autant plus probable que 41 % des écoliers chez qui un asthme a été diagnostiqué connaissent une amélioration des symptômes pendant les week-ends.

Chest, juillet 2014 ; Extrapol, décembre 2005

PSYCHIATRIE

L'addiction au sport est davantage présente chez les boulimiques ou anorexiques mentaux

Les troubles des conduites alimentaires favoriseraient la dépendance sportive ou « addiction au sport ». Des données présentées par le Royal College of Psychiatrists et portant sur 700 personnes suggèrent que la moitié des sujets souffrant de boulimie ou d'anorexie mentale ne peuvent pas se passer d'activité physique. Le besoin est élevé (plus de trois heures par jour chez un non-professionnel) et surtout, il est compulsif et ritualisé au point de conditionner toute la vie.

Medscape, 7 juillet 2014

GASTROENTÉROLOGIE

Alerte aux norovirus

Les norovirus, dont le prototype est le virus de Norwalk — du nom de la ville de l'Ohio (États-Unis) où il a été décrit la première fois— sont responsables de 20 % des épidémies de gastroentérites aiguës, quels que soient les pays et toutes classes d'âge confondues, selon l'analyse de 175 rapports publiés entre 1990 et 2014. L'hygiène alimentaire reste la base de la prévention de ces infections bénignes, mais parfois sévères ou chroniques chez certaines personnes dont les immunodéprimés.

Medscape, 1er juillet 2014 ; Afssa, mai 2006.

OBSTÉTRIQUE

Les mauvais rêves fréquents en fin de grossesse

La grossesse s'accompagne d'importantes modifications physiologiques, hormonales et psychiques. Selon une étude par questionnaire conduite entre les 6e et 9e mois chez plus de 100 femmes primipares (première grossesse) âgées de 28 ans environ, les femmes enceintes se plaignent plus souvent d'avoir un sommeil de mauvaise qualité que les femmes témoins non enceintes. Elles ont davantage de réveils nocturnes liés à des cauchemars (21 % au lieu de 7 %). Ces troubles du sommeil peuvent entraîner des complications obstétricales à l'accouchement ou favoriser une dépression post-partum, et nécessitent une prise en charge. Sleep Medicine, juin 2014

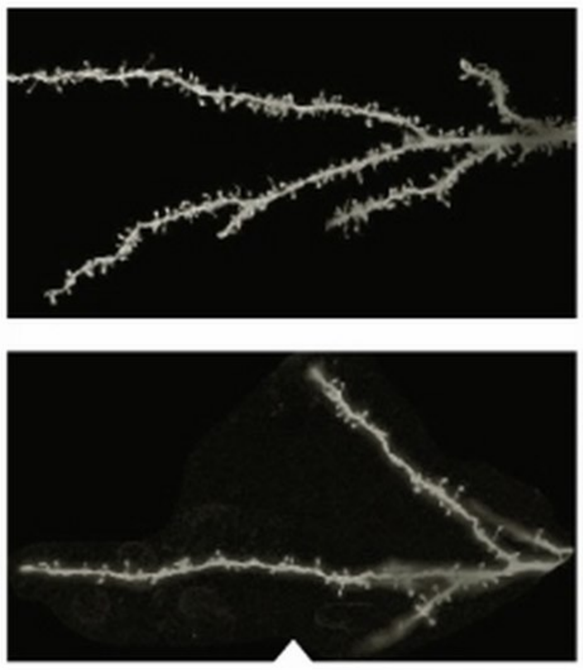
J.DOWLAND/AFP

Les troubles du sommeil peuvent entraîner des complications.

Un excès de synapses chez les autistes

Ce défaut d'élagage des connexions neuronales des enfants atteints pourrait être corrigé.

LE CERVEAU DES ENFANTS et des adolescents autistes présente un surplus de synapses (connexions) qui pourrait être corrigé. Telle est l'étonnante conclusion d'une étude du Columbia University Medical Center (New York, États-Unis) publiée dans le journal *Neuron*. Ce surplus serait dû à une réduction de l'« élagage ». Lors d'un développement cérébral normal, le cerveau de l'enfant se structure en supprimant des synapses inutiles. À la fin de l'adolescence le nombre des synapses du cortex est quasiment réduit de moitié. Or, selon des études antérieures, les synapses sont affectées par de nombreux gènes liés à l'autisme. D'où l'hypothèse : les enfants autistes pourraient avoir plus de synapses que les autres. C'est désormais prouvé.



G. TANG, M. S. SONDERS/COLUMBIA UNIVERSITY MEDICAL CENTER

Les synapses des neurones d'autistes (en haut) présentes plus d'épines dendritiques que celles des cerveaux sains (en bas).

Les cellules perdent leur capacité d'autophagie

Les chercheurs ont examiné *post mortem* 26 cerveaux d'enfants autistes âgés de 2 à 9 ans et de 13 à 20 ans, ainsi que 22 cerveaux témoins. Résultat : la densité d'épines dendritiques (qui connectent un neurone à un autre par l'intermédiaire d'une synapse) a chuté environ de moitié chez les témoins à la fin de l'enfance et de 16 % dans les cerveaux autistes. En cause, le dysfonctionnement d'un mécanisme : l'autophagie, la capacité d'une cellule à détruire ces propres composants, liée à une protéine, la mTor. Quand la mTor est suractivée, les cellules perdent leur capacité d'autophagie. Et si on l'inhibe par une molécule, la rapamycine, chez des souris au comportement autistique, l'autophagie (l'élagage) est restaurée. Et ce, même après que les comportements se sont installés. Un espoir pour de futurs traitements. Mais comment garantir que ceux-ci n'élaguent que les synapses inutiles ? « *C'est la grande question irrésolue*, répond David Sulzer, un des coauteurs de l'étude. *On ne sait rien sur la sélection des synapses du cerveau profond. Nous devons en comprendre les règles pour mener à une thérapie suffisamment précise.* » ■ **Elena Sender**

Le Jeu du hasard et de la complexité. La nouvelle science de l'immunologie

Philippe Kourilsky, Odile Jacob, 336 p., 22 €

L'homme est un prédateur universel des animaux et des plantes qu'il utilise pour survivre. Il n'est la proie, en revanche, que d'agresseurs biologiques externes (agents infectieux, virus, bactéries et parasites) ou internes (pathologies auto-immunes, cancers). Comment notre organisme peut-il se défendre contre ces attaques pour une bonne part dues au hasard ? Par des mécanismes de surveillance et de défense complexes et sophistiqués. Cette somme — pour amateurs de biologie, étudiants, professeurs — nous les fait découvrir à la lumière des toutes dernières découvertes. ■ **E. S.**

Capital santé. Quand le patient devient client

Philippe Batifoulier, La Découverte, 180 p., 14 €

Hier, une épreuve physique et morale, la maladie est aujourd'hui devenue aussi une épreuve financière. L'auteur, enseignant d'économie politique à l'université Paris-Ouest, démontre de manière implacable comment le système de santé français, initialement pensé pour le patient, est devenu une source de profits, et comment il dépérit en se retournant contre les plus pauvres qui renoncent aux soins ■ **Sylvie Riou-Milliot**

Le Médicament qui devait sauver l'Afrique

Guillaume Lachenal, Les Empêcheurs de penser en rond/ La Découverte, 282 p. 18 € (sortie le 2 octobre)

C'est l'histoire d'un retournement de situation étonnant. Dans les années 1950, pour lutter contre la maladie du sommeil (trypanosomiase africaine), la Lomidine (ou pentamidine), est considérée comme un traitement miracle. Elle est administrée lors de campagnes massives d'injections préventives et obligatoires. Jusqu'à ce que deux décennies plus tard, une série d'expériences remette en question son efficacité en prévention, son innocuité et son mode d'action supposé. La perspective de l'éradication de cette maladie parasitaire s'éloigne alors définitivement. La « lomidinisation totale », érigée en monument par les services de santé coloniaux de l'après-guerre, se révèle une faillite complète. Où l'on voit mêlés utopie et savoirs incertains. ■ **Marc Gozlan**

DÉTECTION Repérage de la présence d'une forme spécifique, comme celle d'un visage humain, caractérisée par certains critères (biométrie, lumière, textures, contrastes).

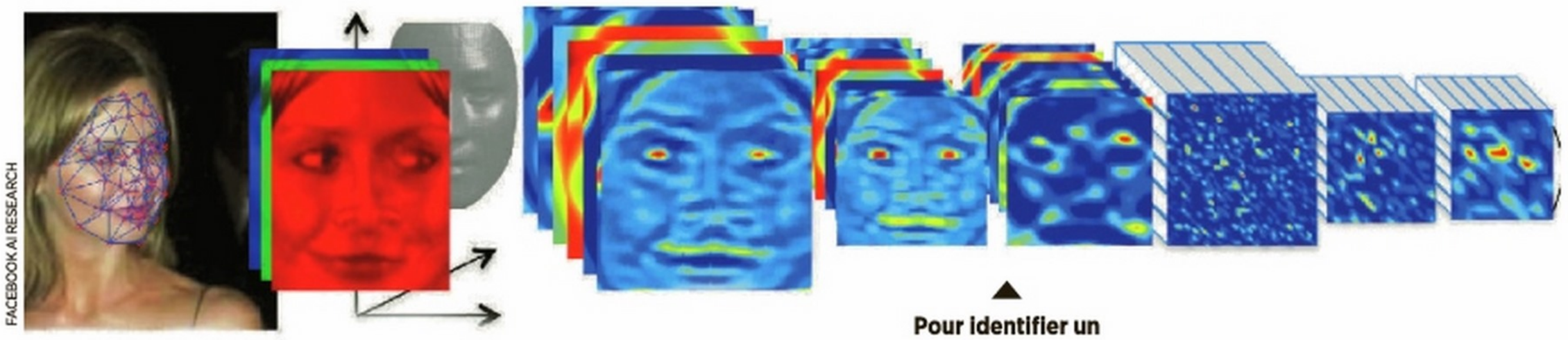
VÉRIFICATION Capacité d'un programme à signaler que deux visages appartiennent à la même personne.

RECONNAISSANCE Capacité d'une machine à identifier une personne à partir de son visage.

Les nouvelles frontières de la reconnaissance faciale

Le logiciel DeepFace de Facebook serait en mesure de reconnaître un visage avec une fiabilité exceptionnelle de 97,95 %. Mais les parades restent très nombreuses.

Par Arnaud Devillard



Pour identifier un visage quelle que soit sa position (ici l'actrice américaine Calista Flockhart), DeepFace commence par remettre ces visages de face. Puis il sélectionne différentes régions faciales et les caractéristiques les plus saillantes à l'intérieur de ces zones. 120 millions de paramètres sont ainsi traités.

« SURPUISSANT », « *haute performance* », « *ultraperfectionné* », « *aussi fiable que le cerveau humain* »... Une salve de commentaires dithyrambiques a accueilli la dernière annonce de la société Facebook : DeepFace, un algorithme de reconnaissance faciale d'abord présenté en mars dans un article scientifique publié en ligne, puis lors de la conférence IEEE de Columbus dans l'Ohio (États-Unis), en juin. Mis au point par une équipe « maison » de spécialistes en intelligence artificielle et un chercheur en informatique de l'université de Tel Aviv (Israël), ce programme serait capable de reconnaître un visage avec une fiabilité de 97,35 %... contre 97,53 % pour l'être humain. Du jamais vu !

Le programme est plus performant que la biométrie

Le réseau social de Mark Zuckerberg disposait déjà de Photo-Tagger depuis juillet 2009. Cette option de reconnaissance incitait les membres à indiquer l'identité des personnes présentes sur les photos qu'ils mettaient en ligne, en fournissant automatiquement une liste de noms possibles après analyse de la base de données. Mais la performance n'était pas toujours au rendez-vous. Le logiciel se fondait en effet, comme beaucoup de programmes similaires, sur des comparaisons biométriques et le repérage de critères prédéfinis comme l'écartement des yeux, la distance yeux-nez, nez-bouche, etc. Dans le cadre d'un contrôle d'accès, certains y ajoutent la détection de vivacité (clignements d'yeux, micro-mouvements faciaux...) pour distinguer un vrai visage d'une photo. « *Mais la biométrie reste très limitée, statique, et produit beaucoup de faux positifs* », estime néanmoins Roger Cozien, docteur en informatique et fondateur de la société d'analyse d'images Exo Makina. DeepFace va beaucoup plus loin. L'algorithme, qui relève davantage

LAGUNA DESIGN/SPL/COSMOS

Les évolutions les plus élaborées de reconnaissance faciale repèrent des similitudes de formes en transformant un visage en modèle 3D fait de polygones, comme pour le développement de jeux vidéo.

de la vérification que de la reconnaissance *(lire lexique p. 80)*, repose sur la topologie, une branche des mathématiques. Le programme choisit lui-même les éléments les plus saillants d'un visage, plutôt que d'utiliser des critères préprogrammés, et ne retient que ceux-ci, sous forme de points. Ces derniers sont reliés pour produire un modèle 3D utilisé pour retrouver un visage sur une photo ou une vidéo *(voir* Sciences et Avenir *nº 809, p. 89)*. Ce n'est pas tout.

HIGH-TECH

Bio-identification

Simulant un réseau de neurones, la technologie DeepFace apprend à partir de ce qu'elle a déjà « vu » et se constitue une mémoire. C'est ce que l'on appelle le « *deep learning* », l'apprentissage profond. Cette approche n'est pas nouvelle mais elle a longtemps peiné à s'imposer car elle nécessite de la puissance de calcul et surtout de vastes bases de données pour que le programme puisse « s'entraîner ». Or, Facebook dispose de ce stock massif : l'équipe de recherche a, en effet, travaillé non seulement sur des stocks d'images disponibles en ligne (Labeled Faces in the Wild, de l'université du Massachusetts et YouTube Faces, de celle de Tel Aviv) mais elle a aussi exercé DeepFace avec 4,4 millions de photos de 4 030 internautes issus du plus de 1,2 milliard de profils du réseau social ! Personne d'autre ne dispose d'un tel volume sous la main.

Le défi reste de reconnaître un visage maquillé

Alors, une révolution, DeepFace ? Pas sûr. « *Ce taux de réussite n'apporte rien*, tempère Sébastien Marcel, responsable du groupe Biométrie à l'institut de recherche Idiap, à Martigny, en Suisse. *DeepFace est simplement une technique de reconnaissance de visage de plus, décrite dans un article d'une conférence prestigieuse, mais dont il serait extrêmement difficile de reproduire les résultats.* » Et, donc, de vérifier les performances. En raison du stock monumental de photos que cela exige, seul Facebook peut refaire ce que Facebook a fait... Sans compter quelques soucis de transparence. « *L'article détaille une étape préalable de normalisation des images : les visages sont recalculés pour être orientés de face*, ajoute Jean-Luc Dugelay, chercheur à l'école d'ingénieurs Eurecom à Sophia Antipolis. *Pourquoi le réseau de neurones artificiel ne peut-il pas* ▶

COGNITION

Comment l'œil et le cerveau humains procèdent

Depuis le modèle fonctionnel posé par les psychologues britanniques Vicki Bruce et Andy Young en 1986, on sait que le cerveau reconnaît d'abord la forme d'un visage (deux yeux, un nez, une bouche) et son appartenance à l'espèce humaine (expression, âge, sexe). Puis des « unités de reconnaissances faciales » déterminent si ce visage est familier ou non. Enfin, les « nœuds sur l'identité de personne » mènent à la reconnaissance puis, en lien avec le système cognitif, à son nom. Les zones neuronales impliquées ont été déterminées en 2000 : le cortex visuel occipito-temporal pour la perception des visages, le gyrus temporal supérieur pour les éléments variables, le gyrus fusiforme pour les éléments statiques.

Bio-identification

Pour le projet européen Tabula Rasa, ce masque 3D a été réalisé par le site ThatsMyFace.com à partir d'une photo de visage de face. Il permet de tromper les logiciels de reconnaissance faciale.

PHOTO : IDIAP

s'en passer, s'il est si performant ? De même, Facebook ne dit pas ce qui se passerait si l'on n'alignait pas les visages de face. »

Quant au comportement de l'algorithme face à des visages maquillés ou modifié par chirurgie esthétique, mystère. En fait, l'effet d'annonce cache une réalité plus complexe.

« *Pour un logiciel, reconnaître des formes ne pose pas de problème aujourd'hui. En revanche, il a encore beaucoup de mal à interpréter ce qu'il "voit"* », rappelle Roger Cozien. Là où le cerveau humain sait reconnaître une personne malgré une mèche lui barrant le visage, des lunettes de soleil, une mauvaise lumière ou du maquillage, un programme est facilement dépassé. C'est tout l'enjeu de la recherche que de traiter ces « variabilités ». Sébastien Marcel coordonnait ainsi jusqu'en avril dernier le projet européen Tabula Rasa d'étude de vulnérabilité des systèmes de contrôle biométrique et de recherche de contre-mesures aux attaques (le *spoofing*). Ce consortium d'entreprises et de centres de recherche a, par exemple, pu leurrer des logiciels avec des masques achetés en ligne.

« *Nous avons alors construit des bases de données pour entraîner le système à repérer ces subterfuges et le rendre capable de séparer les caractéristiques de vrais visages de celles des faux en mesurant la texture de la peau et la carte de disparité des images* [des données de profondeur] », détaille Sébastien Marcel.

Actuellement chercheuse à l'Inria Méditerranée, Antitza Dantcheva a remporté en juin 2013 un concours de spoofing organisé par Tabula Rasa. Elle a trompé le logiciel de la société KeyLemon en se faisant passer pour

CAMOUFLAGE

Comment mettre la technologie en échec

L'artiste et développeur new-yorkais Adam Harvey déjoue la détection d'un visage en adaptant la technique de camouflage des navires de guerre durant la Première Guerre mondiale. *« S'il n'y a pas de visage à analyser, alors la reconnaissance faciale échoue »*, résume-t-il. Son projet CV Dazzle consiste à casser la géométrie et la composition faciale. Il tient en échec les programmes fondés sur la méthode dite de-Viola-Jones. Cette technologie se base sur l'analyse de la symétrie, la répartition de la lumière, des couleurs et des zones d'ombres.

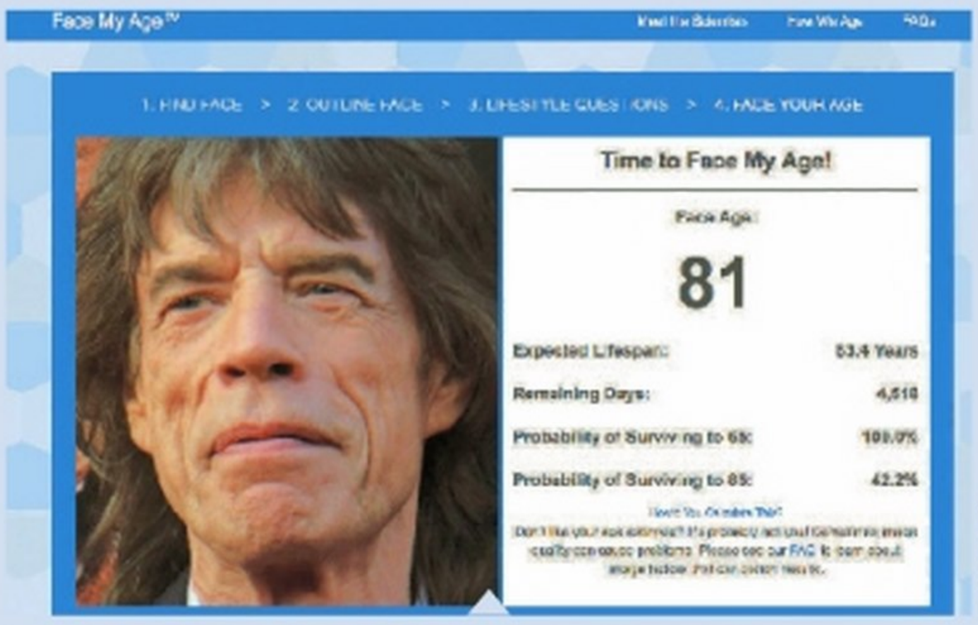
ADAM HARVEY

◀ **La technique « *anti-face* » (anti-visage)** d'Adam Harvey exploite la difficulté des logiciels à interpréter une forme comme peut le faire le cerveau humain.

ALGORITHME

L'espérance de vie se lirait sur les visages

En juillet dernier, Mick Jagger a eu 71 ans. Mais selon le site Internet Face My Age, il en paraîtrait plutôt 81... Utilisant un algorithme conçu par Jay Olshansky, biodémographe à l'université de l'Illinois à Chicago (États-Unis), et Karl Ricanek, spécialiste en biométrie et reconnaissance faciale à l'université de Wilmington en Caroline du Nord (États-Unis), ce site calcule l'« âge perçu » d'un visage et, *in fine*, l'espérance de vie ! À en croire le site, à qui nous avons soumis une photo de la star, le leader des Rolling Stones aurait ainsi 42,2 % de chance de passer les 85 ans et il lui resterait 4 525 jours à vivre... Face My Age exploite un stock de plus de 220 000 images de visages envoyées par des particuliers. Il suffit d'indiquer quelques informations de base (âge, sexe, éducation, fumeur ou pas, chirurgie esthétique ou pas, usage de drogue...) et l'algorithme scrute 250 points (yeux, front, nez, joues, bouche, menton...) repérant la moindre ride. Le tout est comparé à des profils similaires de la base de données. Et le verdict tombe. L'algorithme n'est qu'un prototype. « *À terme, les internautes verront à quoi ils ressembleront dans 20 ou 40 ans* », ajoute Karl Ricanek. Les deux chercheurs espèrent inciter les gens à modifier leur hygiène de vie, « *sans pour autant faire du diagnostic médical* ». Ils travaillent aussi à un logiciel pour les assureurs. On imagine sans peine son utilité pour relever les primes des clients les moins vigoureux...



Selon l'algorithme de Face My Age, Mick Jagger aurait 42,2 % de chances d'atteindre l'âge de 85 ans.

un homme en usant de simples produits cosmétiques. Depuis, elle travaille aux contre-mesures. Utilisant une base de données de 600 photos de 151 visages féminins avant et après maquillage, la chercheuse a entraîné son algorithme à repérer les effets de la cosmétique : changement de lumière, configuration des traits, expression, couleur, etc. Avec un taux de détection de 93,5 %, les premiers résultats sont encourageants. « *Nos travaux sont toujours en cours*, relativise Antitza Dantcheva, *et nous étudions désormais quels paramètres retenir pour qu'un algorithme reconnaisse un visage avec et sans maquillage.* »

En septembre 2013, Amy Webb, une spécialiste américaine en stratégie numérique, publiait sur Slate.com une chronique en forme d'avertissement : bientôt, des technologies de « bio-identification » sauront reconnaître, sur Facebook ou ailleurs, un adulte à partir d'une photo prise lorsqu'il était enfant. La technique en est à ses balbutiements mais à l'université du Kent (Royaume-Uni), Stuart Gibson a déjà conçu un programme qui vieillit des visages d'enfants en modélisant l'évolution de divers critères (structure osseuse, texture de peau...). À l'université de Chicago, un biodémographe américain travaille sur le même sujet *(lire l'encadré ci-contre)*.

Les caméras vidéo restent souvent trop médiocres

Si tant de perspectives s'ouvrent, c'est aussi qu'au-delà des algorithmes, la recherche profite de la diffusion de plus en plus large de capteurs de qualité : webcam, appareils photo numériques, smartphones à cellules optiques, etc. Récemment, Intel ou SoftKinetic ont aussi lancé des caméras capables de percevoir la profondeur. Mais il reste du chemin à parcourir. « *La plupart des caméras de vidéosurveillance ont une résolution médiocre, ce qui pose problème pour ne serait-ce que détecter un visage !* », prévient Naoufal El Ouali, président de la société Axone spécialisée dans les technologies de sécurité. À l'automne 2013, les images de vidéosurveillance du « tireur fou » Abdelhakim Dekhar n'avaient ainsi pas pu être analysées par les logiciels de la police française.

Mais la surveillance ou la lutte contre le crime ne sont pas les seules vocations de la reconnaissance faciale. Si Facebook affirme ne pas savoir ce qu'il fera de DeepFace, on imagine qu'il pourra améliorer, encore et toujours, le ciblage publicitaire. Embarquées en application sur des appareils mobiles, ces technologies peuvent aussi servir d'aide médicale pour établir un diagnostic d'urgence, d'outils d'assistance aux personnes identifiées comme âgées ou handicapées pour leur indiquer des itinéraires adaptés de repérage dans une foule de gens avec qui on a rendez-vous, etc. « *Il existe autant d'usages de la reconnaissance faciale qu'il en existe pour nos yeux* », souligne Roger Cozien. Autant dire que ces technologies n'en sont qu'à leurs débuts. ■

POUR EN SAVOIR PLUS

Le projet Tabula Rasa :
▸ www.tabularasa-euproject.org
Le site Face My Age :
▸ www.facemyage.com
CV Dazzle :
▸ http://cvdazzle.com
L'article de recherche de Facebook sur DeepFace :
▸ www.facebook.com/publications/546316888800776

Le kit informatique du parfait espion

Des développeurs ont reconstitué les outils d'espionnage dont use l'agence de sécurité américaine NSA pour espionner les ordinateurs.

ON POURRAIT CROIRE à une blague de « bidouilleurs », mais c'est bien autre chose : le projet a été présenté en août au Defcon de Las Vegas, la fameuse conférence annuelle sur la sécurité informatique. Idée maîtresse : prendre la NSA américaine (National Security Agency) à son propre jeu en reproduisant ses outils d'espionnage informatique. Baptisé « *NSA Playset* » (le kit de jeu de la NSA), le projet a été lancé par Michael Ossmann, un développeur, suite à la divulgation de l'ANT Catalog, catalogue de 48 « mouchards » électroniques de la NSA, qui figure parmi les documents top secret dévoilés par l'un de ses anciens employés, Edward Snowden, en 2013.

Ce catalogue répertorie des éléments matériels (cartes électroniques, émetteurs, connecteurs...) capables d'espionner un ordinateur ou un téléphone mobile. Michael Ossmann s'est rendu compte que tous ces matériels classés confidentiels pouvaient être reproduits avec des composants et des logiciels accessibles à tous. Il a été rejoint par d'autres informaticiens. « *Si certains font cela pour s'amuser, la plupart des contributeurs du projet cherchent à alerter sur ce dont sont capables les agences de renseignement,* explique Joe FitzPatrick, l'un des contributeurs qui a reproduit une carte graphique espion. *En mettant l'ensemble à disposition de tous, nous espérons amener les fabricants à combler les failles de sécurité de leurs produits.* » ■ **Arnaud Devillard**

Une carte électronique pour accéder à la mémoire de l'unité centrale

Ressemblant à une carte graphique, elle se place sur la carte mère de l'ordinateur cible, à l'emplacement de la carte d'extension. Le pirate y connecte ensuite son propre ordinateur. Il peut lire ou trafiquer le contenu de la mémoire (historique Internet, programmes, code qui valide les mots de passe, etc.), voire attaquer des ordinateurs du même réseau.

Un faux smartphone pour capter les communications GSM

Leviticus est un faux smartphone Motorola C139, contenant un système d'analyse de fréquences GSM et utilisant une technologie de captation des communications Twilightvegetable. Un espion récupère ainsi la TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity, un identifiant assigné par le réseau sur une zone de couverture donnée) d'un téléphone mobile GSM qu'il veut espionner, le code pays, l'horodatage, l'identifiant de la station de base, etc.

POUR EN SAVOIR PLUS

L'ANT Catalog :
sciav.fr/812cata

Le site du NSA Playset :
www.nsaplayset.org

Un logiciel espion actif par liaison sans fil

Un adaptateur se branche au bus I²C (système de communication protégée) de l'ordinateur ou du serveur à espionner. Il permet d'injecter un logiciel espion par liaison sans fil GSM puis de transmettre les données récupérées par la même voie. Si le virus est supprimé par un logiciel de protection, le pirate a toujours la possibilité de le réinjecter *via* la liaison GSM. Cet outil de la NSA est appelé Wagonbed.

Un drone pour capter les connexions Wi-Fi

Ce drone quadricoptère Bumblebee 550 embarque une technologie de test de pénétration réseau, Wi-Fi Pineapple, conçue par la société Hak5. L'engin se fait passer pour un point de relais Wi-Fi, ce qui a pour effet d'attirer les demandes de connexion sans fil des appareils les plus proches et de les espionner. Les données ainsi captées sont transmises sans fil sur un téléphone mobile ou un ordinateur.

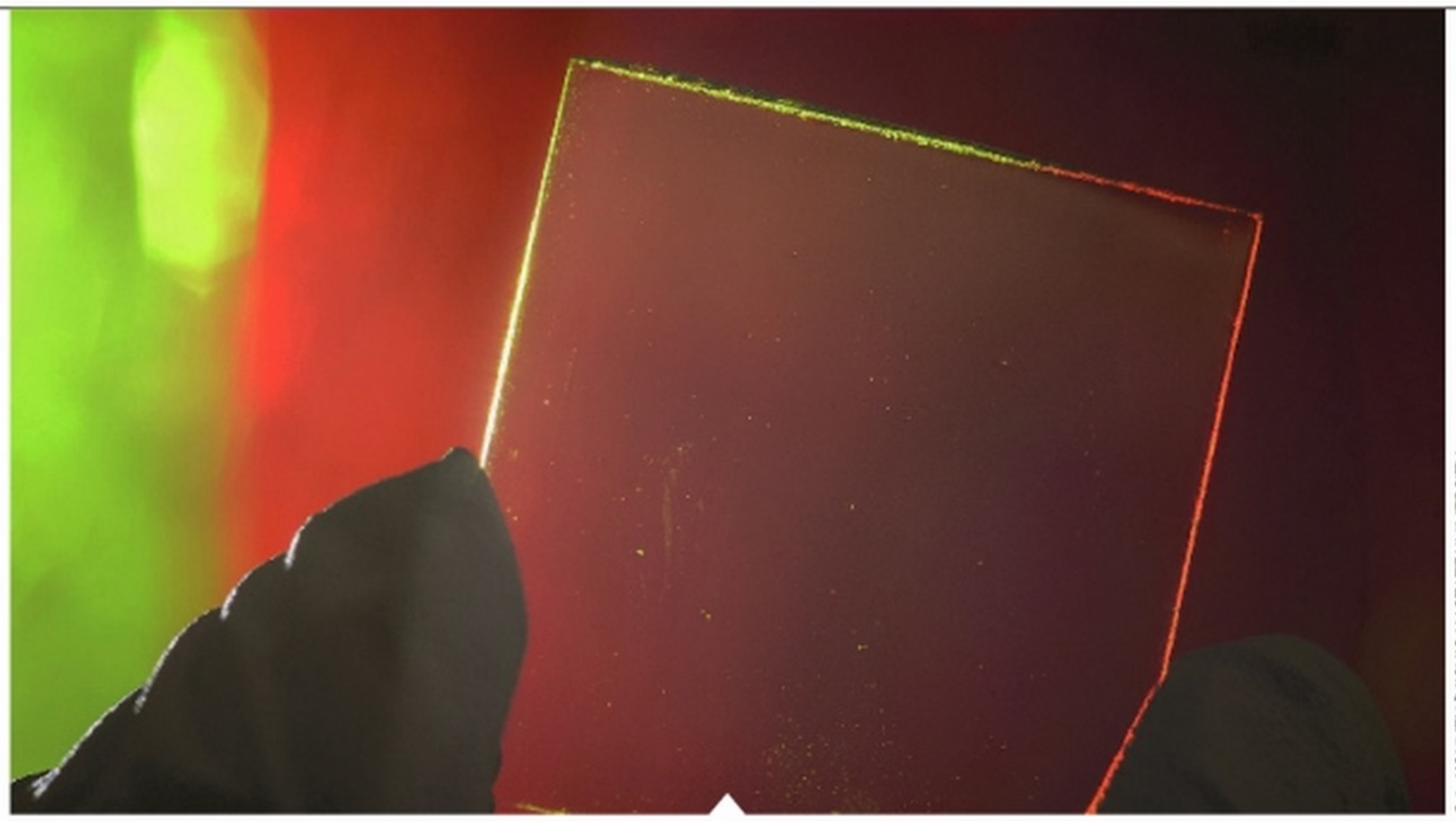
Un câble pour enregistrer les frappes de clavier

Michael Ossmann a reproduit des mouchards appelés rétroréflecteurs à radiofréquence. Ces petits transistors munis d'une antenne de 2 cm de long se cachent dans un câble entre une unité centrale et le moniteur ou le clavier de l'ordinateur à espionner. Ils renvoient ce qui passe par le câble sous forme d'ondes radio, lesquelles sont captées à distance par un radar et restituées en clair par une technologie de radio logicielle. L'intérêt est de pouvoir espionner un poste même s'il n'est pas connecté à Internet.

Une liaison sans fil qui sert de porte d'entrée

L'espion exploite ici une vulnérabilité de la clef de chiffrement dans la liaison sans fil Bluetooth Low Energy (BLE) qui relie un ordinateur à sa souris. Depuis sa machine, il intercepte et brouille cette liaison *via* un composant électronique en *open source* appelé Ubertooth. Puis il injecte un code, tapé depuis son propre clavier, indiquant à l'ordinateur cible que le clavier espion est un périphérique légitime.

ILLUSTRATION : MEHDI BENYEZZAR POUR S. A.



G. L. KOHUTH/MICHIGAN STATE UNIVERSITY

Le concentrateur solaire transparent et rigide mis au point par les chercheurs de l'université du Michigan.

Les vitres, prochain eldorado de l'énergie solaire

Des technologies plus abouties permettent de concevoir des panneaux solaires parfaitement transparents.

LES FENÊTRES D'UN IMMEUBLE, l'écran d'un smartphone, le verre d'une montre..., autant de surfaces qui pourraient servir à produire de l'électricité. L'équipe de Richard Lunt, de l'université d'État du Michigan (États-Unis), vient en effet de présenter des panneaux solaires transparents. Placés sur une surface plane, ils captent l'énergie du Soleil pour la convertir en courant. Il existe déjà des panneaux solaires qui laissent passer la lumière, mais ils sont colorés. Le procédé de Richard Lunt repose, lui, sur un film à base de molécules qui absorbent le rayonnement ultraviolet et proche infrarouge, parties non visibles du spectre solaire. Ces molécules réémettent ensuite un rayonnement infrarouge vers les bords de la vitre où sont placées des cellules solaires. « *Comme ces matériaux n'absorbent et n'émettent pas dans le spectre visible, ils paraissent parfaitement transparents* », précise Richard Lunt. Ce qui permettrait par exemple de les utiliser sur un écran de smartphone pour alimenter l'appareil.

Pour le moment, seulement 1 % de l'énergie solaire captée est converti en électricité (contre 15 % à 20 % pour les panneaux classiques). Mais les chercheurs misent sur un rendement de 5 % d'ici à quelques années. C'est peu.

Les chercheurs misent sur un taux de conversion solaire de 5%

Pourtant ces travaux intéressent un pionnier français du domaine, Sunpartner Technologies. « *Nous développons et commercialisons des vitres comportant des bandes photovoltaïques très fines. Elles sont recouvertes d'un système complexe de lentilles qui dévie le regard dans les parties transparentes, entre les bandes* », explique Jean-Luc Ledys, son directeur technologie et innovation. Ces vitres atteignent un niveau de transparence pouvant varier de 60 à 90 % selon les applications désirées. Bien sûr, plus une vitre est opaque, plus elle produit d'énergie car elle dispose de plus de bandes photovoltaïques. La puissance varie donc en fonction de la quantité de ces bandes et de leur nature. « *Potentiellement, nous pouvons utiliser toutes sortes de matériaux photovoltaïques dont les rendements varient entre 6 et 30 %* », précise Jean -Luc Ledys.

Et si l'on combinait ces travaux à ceux de l'équipe de Richard Lunt ? « *Leurs molécules exploitent une partie du spectre solaire qui nous échappe. Combinées à notre technologie, elles pourraient apporter un supplément d'énergie intéressant* », confirme Jean-Luc Ledys. Dans le domaine de l'énergie solaire, les petits suppléments font les grands rendements. ■

Olivier Hertel

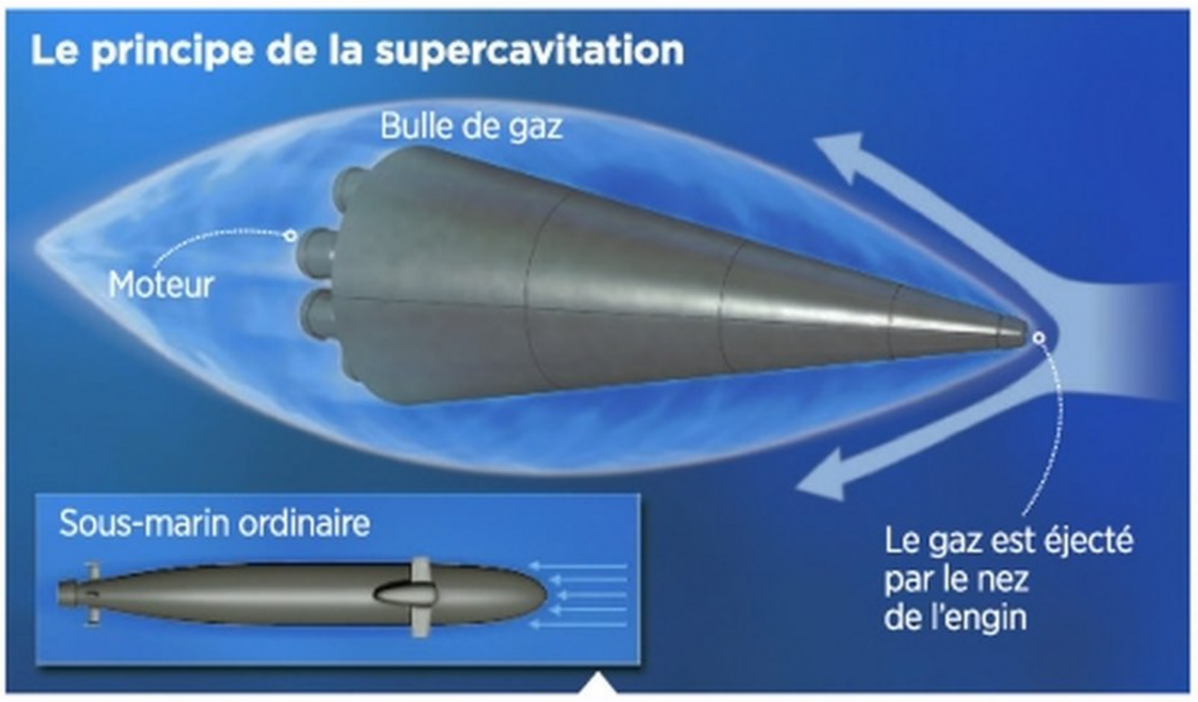
Un sous-marin supersonique

Envelopper le navire dans une bulle de gaz permettrait de s'affranchir des frottements.

Shanghai-San Francisco en moins de deux heures et en sous-marin ! Li Fengchen, chercheur à l'Institut de technologie de Harbin (Chine), y croit. Il envisage de faire voyager le sous-marin dans une bulle d'air. C'est la « supercavitation ». L'idée repose sur le constat que l'eau produit beaucoup plus de traînées sur un objet que l'air. Si l'objet est entouré d'une bulle de gaz, il pourrait alors théoriquement voyager à la vitesse du son dans l'eau, soit plus de 5000 km/h !

Mais la supercavitation pose deux problèmes. Le premier est que pour créer et maintenir la bulle, il faut lancer l'engin à une vitesse de l'ordre de 100 km/h. Ensuite, le fait de placer le navire dans cette bulle empêche de le manœuvrer avec un gouvernail, car il n'est pas en contact avec l'eau. Deux verrous que Li Fengchen estime avoir fait sauter. La surface de l'engin serait baignée par une sorte de membrane liquide qui réduirait considérablement les forces de frottements à faible vitesse. À partir de 75 km/h, le sous-marin passerait en état de supercavitation. Enfin, les manœuvres seraient réalisées en faisant varier les forces de frictions avec l'eau grâce à un contrôle précis de la membrane liquide en différents endroits de la surface de la coque.

Mais pour Aymeric Bonnaud, spécialiste des sous-marins chez DCNS, si la supercavitation est un concept intéressant, l'approche chinoise reste très délicate : « *Il faudrait un volume énorme de liquide pour alimenter la membrane, une quantité d'énergie considérable pour propulser l'engin et ce dans l'espace très restreint d'un sous-marin.* » On attend le prototype avec impatience pour voir si ce problème a été résolu. ■ **O. H.**



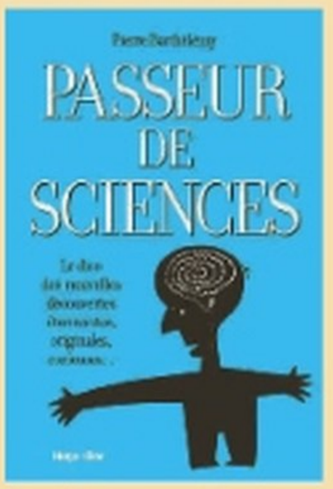
L'éjection de gaz au niveau du nez de l'engin sous-marin est une des solutions qui permet d'obtenir l'état de supercavitation.

L'Existence au risque de l'innovation

Michel Blay, CNRS Éditions, 216 p., 23 €

Serions-nous esclaves du progrès, victimes de la nouveauté technologique, dépendants de la nécessité d'innover ? En quelques siècles, la technique semble avoir pris l'avantage sur la nature et sur nous-mêmes. Elle nous impose son diktat comme une évidence, inéluctable, aveugle et autonome. Le philosophe des sciences Michel Blay, directeur de recherche émérite au CNRS, explique à travers l'histoire des sciences, comment ce rapport au progrès et à la nature s'est installé, comment une course sans fin à l'innovation nous a, selon lui, asservis. Il s'interroge alors sur la façon dont nous pouvons reprendre les rênes de notre existence. ■ **O. H.**

Passeur de sciences



Pierre Barthélémy, Hugo&Cie, 284 p., 17,50 €

La science est une affaire sérieuse… mais ce n'est pas une raison pour qu'elle soit ennuyeuse. Et justement, le journaliste Pierre Barthélémy sait comment la rendre distrayante. Son abécédaire décalé regroupe environ 80 textes publiés sur son blog à succès « Passeur de science ». On y découvre les « radium girls », irradiées par des montres phosphorescentes, Mandy, la webmalade imaginaire ou encore des piles à combustible qui carburent au… pipi. ■ **O. H.**

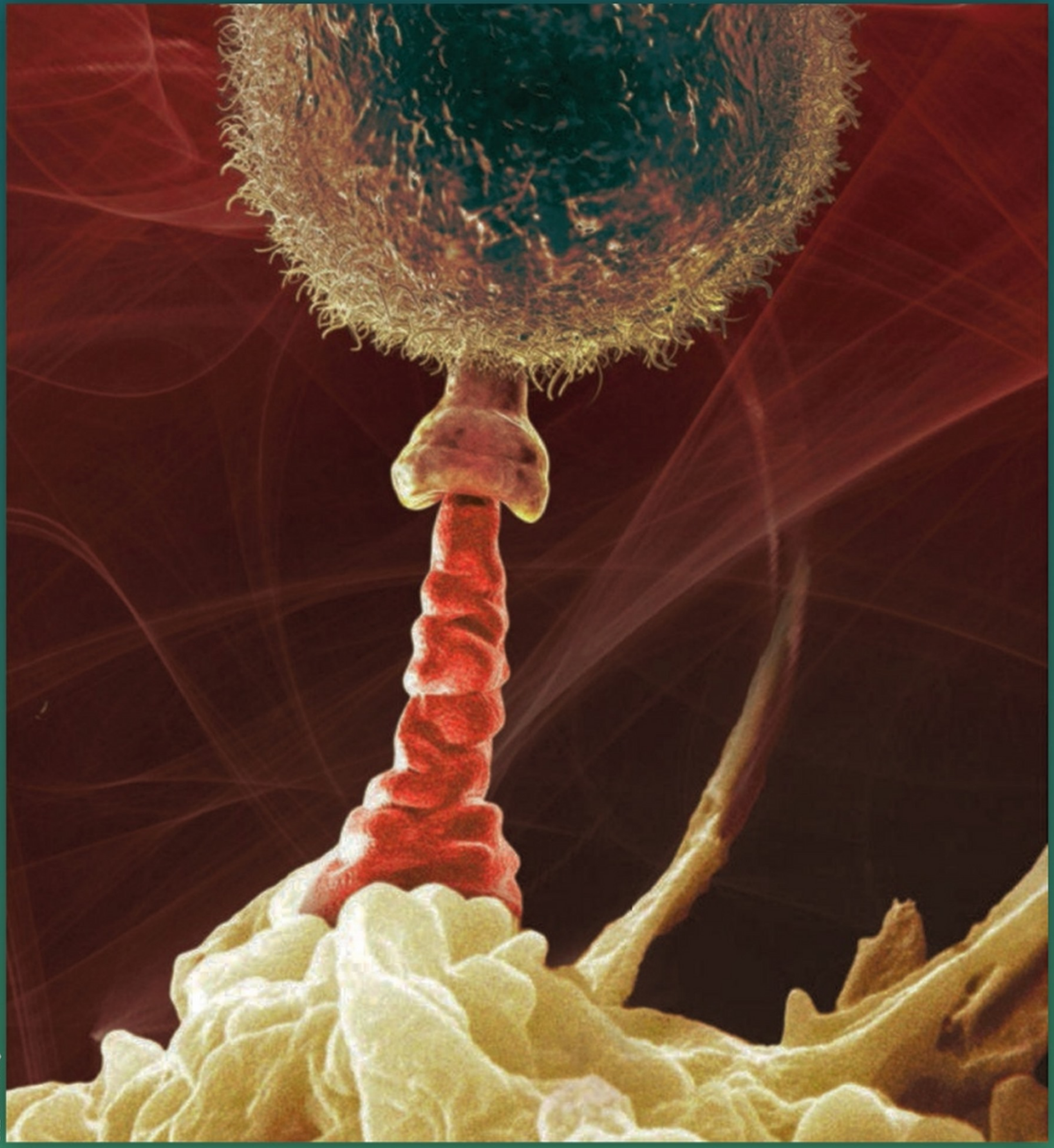
Vous êtes déjà en 2025

Jean-Dominique Séval, Éd. Multimedi@, 292 p, 21,90 €

À travers de petites chroniques, Jean-Dominique Séval, économiste spécialisé dans les nouvelles technologies, fait découvrir ce que devrait être notre monde numérique en 2025. En un peu plus d'une décennie, tout, du smartphone à l'Internet en passant par les montres et les lunettes, devrait changer radicalement. De telles prédictions ne relèvent pas de la divination, mais de l'analyse éclairée des évolutions technologiques auxquelles nous sommes déjà confrontés. ■ **O. H.**

L'IMMUNOTHÉRAPIE

UNE NOUVELLE ARME CONTRE LE CANCER



Rédaction : Géraldine Magnan
en collaboration avec MSD France

Comment
soigner les cancers ?

Si près d'un cancer sur deux peut guérir aujourd'hui, il reste encore beaucoup à inventer pour aider les malades. Plusieurs traitements innovants sont à l'étude.

© Shutterstock

En 2012, en France, 355 000 personnes ont découvert qu'elles souffraient d'un cancer. La même année, 148 000 personnes en sont mortes. Une hécatombe. Les médecins ne sont pourtant pas désarmés. Mais pour vaincre une maladie aux multiples visages, un arsenal thérapeutique complexe est nécessaire. D'ailleurs, aujourd'hui, près d'un cancer sur deux guérit. Au-delà de la chirurgie, des chimiothérapies et des radiothérapies habituelles, lourdes et parfois invalidantes, les chercheurs suggèrent de nouvelles voies. Si certaines ont déjà fait leur entrée dans les hôpitaux, d'autres sont encore à l'étude. Quelles sont les principales pistes ?

Médecine de précision...

Les traitements ciblés reposent sur la caractérisation précise des tumeurs. Il s'agit de viser les cellules cancéreuses, en épargnant les cellules saines. Pour cela, il faut d'abord les reconnaître, puis identifier les traitements les plus adaptés pour les combattre. Ainsi, les traitements sont différents selon les tumeurs. Car un cancer du sein peut ne pas ressembler à un autre cancer du sein. Tandis qu'un cancer du poumon peut ressembler à un cancer du sein... Voilà pourquoi cette approche est aussi appelée médecine personnalisée. Le traitement est spécifiquement adapté à la tumeur du malade. Si de nombreuses erreurs - ou mutations - accumulées dans le patrimoine génétique des cellules cancéreuses ont déjà été caractérisées, une foule d'équipes travaillent encore à dresser la carte d'identité des tumeurs.

Ces mutations génétiques conduisent la cellule à modifier les protéines qu'elle fabrique. Ces dernières peuvent alors être absentes, ou trop nombreuses, ou mal formées. Techniquement plus faciles à repérer en routine que les mutations génétiques elles-mêmes, elles constituent des biomarqueurs qui permettent de caractériser les cellules anormales. Ces marqueurs peuvent prédire la réponse à un traitement ciblé ou l'évolution de la maladie. On sait déjà repérer certains d'entre eux. C'est par exemple le cas du récepteur HER2. Lorsque ce biomarqueur est présent sur les cellules de certaines tumeurs du sein, les médecins savent qu'une molécule thérapeutique spécifique sera efficace. Si plusieurs autres thérapies ciblées sont déjà proposées, de très nombreux travaux visent à mettre au point des moyens techniques qui permettent d'identifier ces biomarqueurs.

... ou approche plus globale ?

En parallèle, une autre voie thérapeutique enthousiasme les médecins. Cette fois, il s'agit d'une approche plus globale. Elle revient à activer et éduquer les défenses immunitaires de la personne, de façon à ce qu'elles éliminent elles-mêmes les cellules cancéreuses. Depuis plusieurs années, de nombreuses pistes ont été suivies. Mais aujourd'hui, de nouvelles molécules arrivent sur le marché. Les premiers résultats laissent espérer une véritable révolution thérapeutique. ■

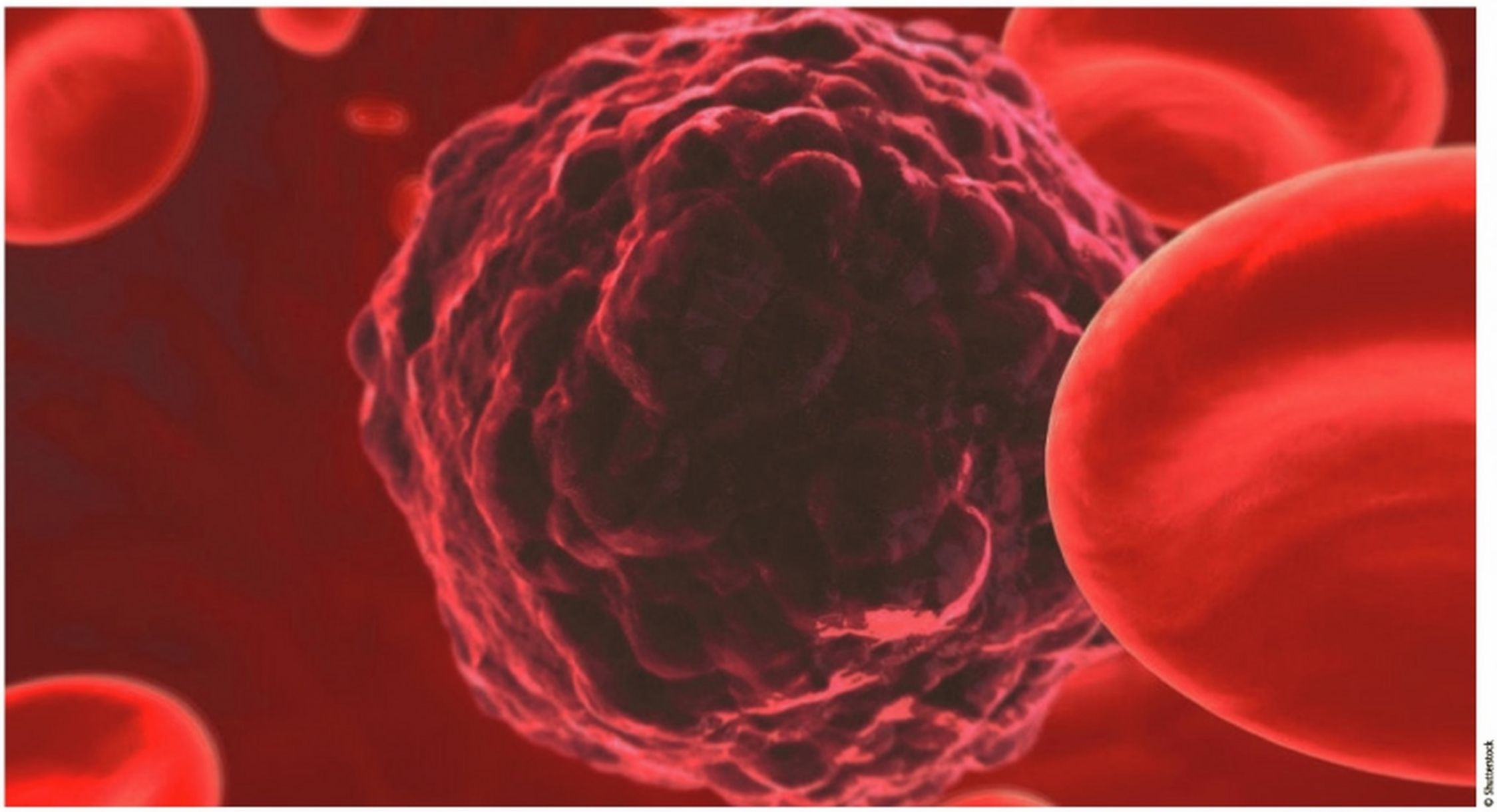
LES CHIFFRES CLÉS DU CANCER EN FRANCE MÉTROPOLITAINE

Source : « Les cancers en France en 2013 », Institut National du Cancer

148 000 décès en 2012 : 85 000 chez l'homme et 63 000 chez la femme
355 000 nouveaux cas en 2012 : 200 000 chez l'homme et 155 000 chez la femme
Presque 4 hommes sur 1000 ont un cancer en 2012 (362.6/100 000)
Moins de 3 femmes sur 1000 ont un cancer en 2012 (252/100 000)
En 2008, **près de 3 millions de personnes** de plus de 15 ans vivantes ont eu un cancer au cours de leur vie
L'âge médian au diagnostic : **68 ans** chez l'homme, **67 ans** chez la femme
L'âge médian au décès : **73 ans** chez l'homme, **77 ans** chez la femme
Près d'un cancer sur deux guérit
Les principaux cancers de l'homme touchent : **la prostate, le poumon, le côlon-rectum**
Les principaux cancers de la femme touchent : **le sein, le côlon-rectum, le poumon**

La révolution des immunothérapies

Les cellules cancéreuses détournent le système immunitaire et lui échappent, proliférant alors à leur guise. Il a fallu plus d'un siècle pour le comprendre. Aujourd'hui, les chercheurs ont mis au point de nouvelles molécules. Elles permettent de reprendre le contrôle.



© Shutterstock

Cellule cancéreuse.

« Le cancer est défini comme un dysfonctionnement du système immunitaire depuis 2011, alors qu'en 2000, il était considéré comme une anomalie de la prolifération cellulaire. On l'envisageait comme une maladie indépendante du système immunitaire », explique Laurence Zitvogel, de l'institut de cancérologie Gustave Roussy, à Villejuif, et de l'université Paris-Saclay. En dix ans, la compréhension des mécanismes du cancer a donc connu une véritable révolution. Scientifique, mais aussi médicale. Car aujourd'hui, elle est à l'œuvre sur le terrain. Des patients bénéficient désormais de nouvelles molécules. Les plus prometteuses viennent de d'être mise à disposition des patients. « Depuis la fin des années 2010, autrement dit hier, on a basculé dans un autre monde, où le système immunitaire joue un rôle très important. Aujourd'hui, nous en connaissons seulement les prémisses. Nous ne savons pas encore jusqu'où cela va nous conduire », s'enthousiasme aussi Daniel Olive, du Centre de recherche en cancérologie de Marseille.

Contrôler la tumeur

L'apparition de la première cellule anormale qui sera à l'origine du cancer ne doit pourtant rien au système immunitaire. Cette cellule peut avoir accumulé une série d'erreurs sur son brin d'ADN, le support du patrimoine génétique, suite à de nombreuses situations : effets d'agents pathogènes, exposition à divers facteurs environnementaux comme les rayonnements, le tabac, certains produits chimiques, transmission d'origine familiale, vieillissement… Mais si cette cellule parvient à se multiplier, c'est parce que le système immunitaire se révèle défaillant. Il joue en effet un rôle dans le contrôle – ou plutôt dans l'absence de contrôle – du développement des cellules tumorales, qui peuvent alors proliférer et migrer un peu partout dans le corps. Les scientifiques ne l'ont compris que récemment.

L'histoire n'est pourtant pas nouvelle. Son origine remonte même à plus d'un siècle et demi. « En 1863, le médecin berlinois Rudolph Virchow décrit l'infiltration de tumeurs humaines par

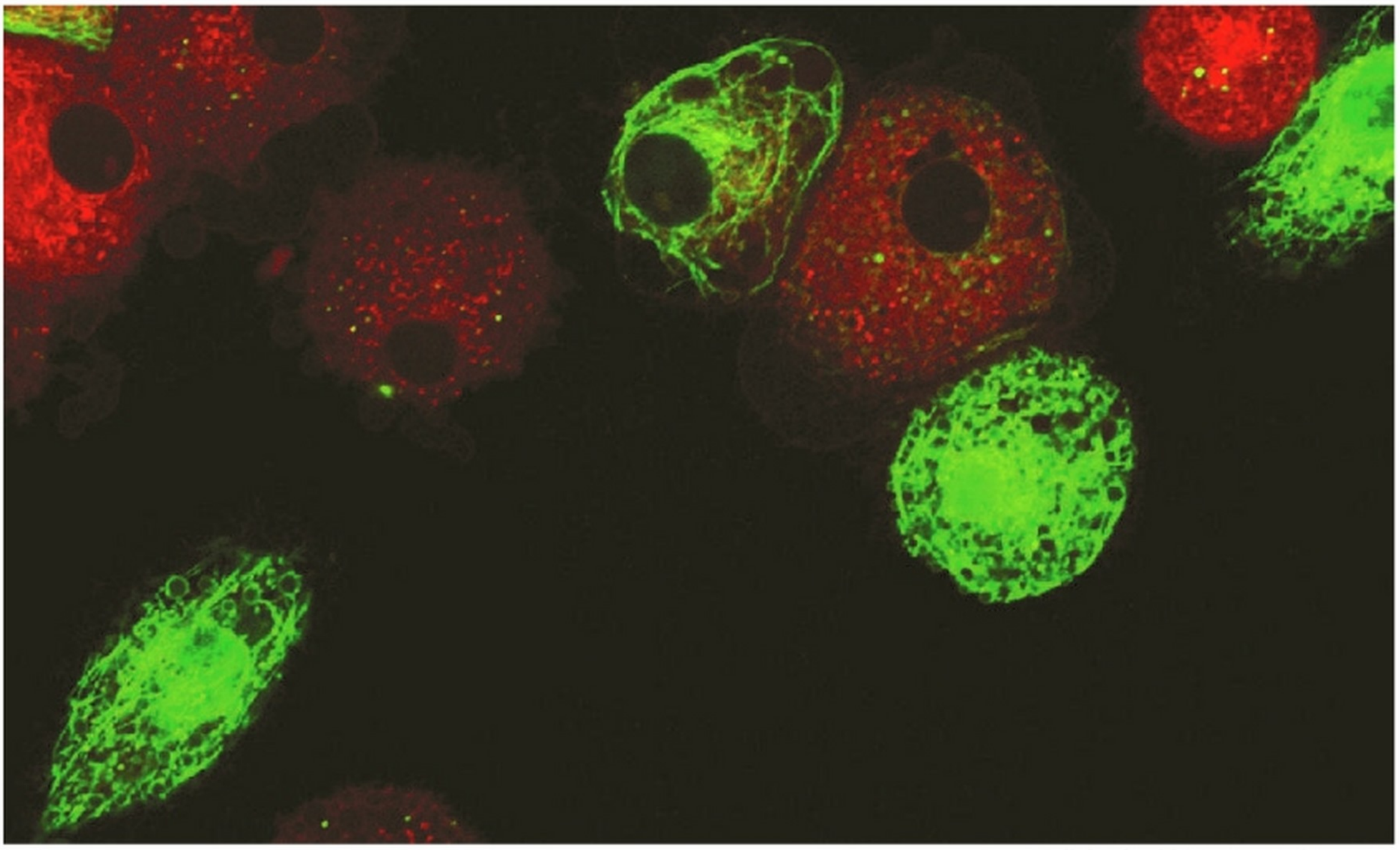
des lymphocytes. Il est le premier anatomopathologiste à observer des cellules immunes dans les tumeurs », raconte Laurence Zitvogel. Un siècle plus tard, en 1973, le Canadien Ralph Steinman découvre les cellules dendritiques, ce qui lui vaudra un prix Nobel en 2011. Régulièrement baptisées sentinelles de l'immunité, ces cellules patrouillent dans l'organisme à la recherche de l'intrus. Quand elles le trouvent, elles l'absorbent puis le digèrent pour, ensuite, en présenter certains éléments – les antigènes – à leur surface. Elles communiquent alors l'information aux lymphocytes, bras armé de l'immunité. Ainsi, les cellules dendritiques activent et éduquent les lymphocytes, qui se multiplient. Ils se chargent de détruire l'intrus et certains d'entre eux pourront aussi, plus tard, le reconnaître. C'est l'immunité acquise, ou adaptative..

Distinguer le soi du non-soi

Si certains éléments du système immunitaire distinguent le « soi » du « non soi », comment peuvent-ils agir sur des cellules cancéreuses issues du propre corps du patient ? « La question a été un blocage pendant des dizaines d'années, répond Daniel Olive. En réalité, les tumeurs expriment plusieurs classes moléculaires qui ne sont pas retrouvées sur les cellules des tissus normaux, ou alors pas dans les mêmes quantités. » En 1991, deux équipes différentes, belge et américaine, découvrent que certains lymphocytes reconnaissent des motifs antigéniques exprimés par les cellules tumorales. Ces équipes décrivent donc, pratiquement au même moment, les premiers antigènes tumoraux. Ce sont eux qui devraient normalement permettre au système immunitaire d'intervenir pour éliminer les cellules cancéreuses.
De nombreuses immunothérapies intervenant à différents niveaux ont alors été explorées, mais sans grand succès, hormis quelques exceptions. Comment expliquer ces échecs ? « La présentation d'un antigène aux lymphocytes permet de mettre en route le système immunitaire, explique Daniel Olive, mais cela reste insuffisant. Pour être performant, il a besoin d'une co-stimulation. Cette co-signalisation informe le lymphocyte que la cellule qui lui présente l'antigène a elle-même bien été activée par un agent étranger. Cela vise à empêcher l'emballement du système immunitaire. » En effet, lorsque cette voie est défaillante, le système immunitaire s'active pour rien ou presque, et attaque les propres cellules de l'organisme, comme c'est le cas dans les maladies auto-immunes. Plusieurs classes thérapeutiques intervenant sur cette voie sont aujourd'hui à l'étude en cancérologie mais les recherches n'ont pas encore abouti concrètement.

Bloquer les bloqueurs

« Ce qui domine vraiment la scène, c'est l'inhibition du système immunitaire par les tumeurs », ajoute Laurence Zitvogel. Parallèlement à la co-signalisation positive du système immunitaire, il existe en effet une co-signalisation négative. Or, cette dernière est renforcée par l'action des cellules cancéreuses. « Il faut donc désinhiber l'inhibition pour, ensuite, activer les différents acteurs », poursuit la chercheuse. En présence d'une tumeur, les cellules présentatrices d'antigènes, dont font partie les cellules dendritiques, sont bloquées. La plupart des lymphocytes sont donc désactivés. Pour contrer ce détournement du système immunitaire, il faut donc bloquer les bloqueurs. Un tel traitement est disponible depuis 2011. D'autres axes de recherche en immunothérapie sont actuellement en cours d'évaluation. ■



© Shutterstock

Cellules dendritiques sous microscope.

« La prise en charge des mélanomes a radicalement changé »

Le mélanome métastatique reste une maladie très grave mais les immunothérapies, qui viennent aux côtés des thérapies ciblées, changent la situation. Elles donnent un nouvel espoir. Caroline Robert, dermatologue à l'institut de cancérologie Gustave Roussy, à Villejuif, fait le point.

© Nik Hunger

Caroline Robert.

Quels sont les progrès des immunothérapies ?

Jusqu'à récemment, dans les cas de mélanome avancé, les tentatives d'améliorer les capacités du système immunitaire avaient échoué. Mais en 2011, un anticorps monoclonal dirigé contre la protéïne CTLA4 a eu une autorisation de mise sur le marché. Cette molécule, qui stimule l'immunité non spécifique, lève un frein physiologique du système immunitaire. Elle a été la première à démontrer un bénéfice d'un traitement sur la survie globale des personnes atteintes de mélanome métastatique. C'est un énorme progrès. Plus récente, une autre voie de recherche avec une immunothérapie non spécifique est explorée. Elle repose sur la levée du frein de la voie PD1/PD-L1. Certaines molécules ciblées agissant sur cette voie sont dans leur dernière phase de développement clinique.

Ces médicaments ont-ils des effets indésirables ?

Les immunothérapies semblent associées à des effets indésirables différents de ceux engendrés par les chimiothérapies classiques. Ici, les effets sont d'ordre immunologique. Les principales cibles sont la peau, le tube digestif, le foie et l'axe hypothalamo-hypophysaire. Le traitement peut donc engendrer des prurits, éruptions, diarrhées colites, etc. La prise en charge de ces toxicités repose sur une corticothérapie à forte dose, qui ne semble pas avoir de retentissement sur la réponse tumorale, y compris à long terme.Le profil de tolérance des molécules en développement continue d'être évalué.

Comment améliorer ces thérapies ?

Avec ces immunothérapies, la difficulté, c'est que nous ne savons pas encore reconnaître à l'avance les patients qui vont répondre au traitement. Nous manquons actuellement de biomarqueurs prédictifs ou précoces d'efficacité. Il nous manque aussi des marqueurs biologiques qui nous permettraient de repérer les patients qui risquent de développer des effets secondaires graves. Les schémas d'administration optimaux restent également à définir. La recherche a encore beaucoup à faire. Malgré d'immenses progrès, le mélanome métastatique reste une maladie grave et le plus souvent mortelle. ■

MELBASE, UNE COHORTE À SUIVRE

Pour améliorer les thérapies en cours, réduire leurs effets secondaires, comprendre les échecs, ou même évaluer l'impact économique, les chercheurs constituent des cohortes de patients dont ils suivent l'évolution. « Melbase » vise à suivre pendant trois ans un millier de patients atteints de mélanome métastatique inopérable et n'ayant pas encore reçu de traitement spécifique. Pour chaque personne, il s'agit de documenter une série de données - génétique moléculaire, biomarqueurs, suivi clinique, biologique, radiologique -, ainsi que des informations sur l'observance du traitement, la qualité de vie, ou les caractéristiques socioéconomiques. Une biobanque d'échantillons tumoraux et dérivés du sang sera également constituée. De quoi alimenter les recherches sur le mélanome pendant de longues années...

« L'immunothérapie connaîtra un avenir multidisciplinaire »

Déjà active sur plusieurs types de tumeurs, l'immunothérapie semble promise à un bel avenir. Jean-Yves Blay, responsable du département de cancérologie médicale du Centre Léon Bérard, à Lyon, évoque les perspectives.

© D.R.

Jean-Yves Blay.

Sur quels types de cancers agissent les molécules actuelles ?

Les principales molécules actuelles en immunothérapie sont les anticorps anti-CTLA4. Ils bloquent des systèmes de blocage du système immunitaire mis en œuvre par les cellules tumorales. Ces « bloqueurs de bloqueurs » restaurent le fonctionnement du système immunitaire et entraînent une réponse tumorale comme cela a été démontré dans le mélanome avancé.

Peut-on espérer le développement d'autres molécules ?

La levée du frein de la voie PD1/PDL1 est également un axe de recherche. Par ailleurs, le grand nombre d'études cliniques en cours avec les immunothérapies doivent permettre, selon les chercheurs, d'obtenir des résultats sur d'autres tumeurs, dans des cancers du poumon et du rein par exemple. Il existe aussi d'autres stratégies en cours d'exploration, que l'on pourrait utiliser de manière conjointe. Certains travaux combinent les bloqueurs de bloqueurs avec des stimulateurs du système immunitaire et/ou des vaccins. D'autres équipes cherchent à restaurer le système immunitaire qualitativement, comme le font les « bloqueurs de bloqueurs », mais aussi quantitativement. On sait en effet depuis des années que les patients atteints de cancer ont un effondrement du nombre de leurs lymphocytes.

> "Le grand nombre d'études cliniques en cours avec les immunothérapies doivent permettre selon les chercheurs d'obtenir des résultats sur d'autres tumeurs, dans des cancers du poumon et du rein, par exemple."

Pourra-t-on les combiner aux médicaments actuels ?

L'immunothérapie est promise à un avenir multidisciplinaire. Il paraît pourtant paradoxal de la combiner avec des thérapeutiques qui tuent les cellules, y compris les cellules normales, comme le font les radiothérapies ou les chimiothérapies classiques. Cela reviendrait à accélérer et freiner en même temps ! On peut en revanche envisager la stratégie de façon séquentielle, en utilisant ces traitements l'un après l'autre. L'immunothérapie pourrait alors consolider l'effet d'une chimiothérapie classique. Mais les vrais progrès viendront plutôt des combinaisons d'immunothérapies avec des traitements ciblés. Ces derniers, qui n'attaquent que les cellules tumorales, semblent avoir un effet transitoire et l'émergence de résistances paraît presque inéluctable. La combinaison avec une immunothérapie permettrait d'éviter les risques de rechute ou d'émergence de résistances à moyen ou long terme. De nombreux groupes de recherche explorent cette voie. ■

S'allier pour avancer

Les partenariats scientifiques entre les laboratoires pharmaceutiques et les structures académiques de recherche, ou avec des start-ups, sont un excellent moyen d'accélérer l'arrivée sur le marché de médicaments innovants. Complexes, la recherche et le développement nécessitent en effet de multiples compétences. Dès lors, l'alliance entre les partenaires peut conduire à une synergie gagnante. Outre la mise au point de nouveaux traitements, ces partenariats ont pour but d'améliorer la prise en charge des patients, notamment à travers le soutien apporté au suivi de cohortes de patients. Elles permettent d'évaluer notamment l'efficacité et la tolérance en vie réelle des médicaments, ainsi que de documenter l'épidémiologie des maladies.

En oncologie, la France dispose de structures reconnues internationalement pour leur expertise. Il existe des structures nationales, régionales et locales impliquées dans la recherche fondamentale, l'offre de soins et la médecine translationnelle. Cette dernière constitue une passerelle entre la recherche exploratoire et la recherche clinique. En effet, la recherche fondamentale fournit aux cliniciens des innovations thérapeutiques et méthodologiques ainsi que des outils d'investigation. En retour, la recherche clinique alimente les travaux fondamentaux avec de nouvelles données de terrain.

MSD a déjà en place des partenariats avec les structures académiques publiques et souhaite renforcer sa contribution à la R&D en France, en particulier dans le domaine de l'oncologie, où le besoin médical reste extrêmement élevé. ■

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES, POUR EN SAVOIR PLUS

- **Steinman, R.M., and Nussenzweig, M.C.** *Dendritic cells: features and functions (review). Immun. Rev. 53: 127-147, 1980.*
- **Rosenberg SA, Spiess P, Lafreniere R.** *A new approach to the adoptive immunotherapy of cancer with tumor-infiltrating lymphocytes. Science. 1986 Sep 19; 233(4770):1318–1321.*
- **Van der Bruggen P, Traversari C, Chomez P, Lurquin C, De Plaen E, Van den Eynde B, Knuth A, Boon T.** *A gene encoding an antigen recognized by cytolytic T lymphocytes on a human melanoma. Science. 1991; 254:1643–1647*
- **Hanahan D., and Weinberg R.A.** *The hallmarks of cancer. Cell 100, 57–70, 2000.*
- **Okazaki T, Honjo T.** *PD-1 and PD-1 ligands: from discovery to clinical application. Int Immunol 2007; 19:813-24.*
- **Wolchok JD, Neyns B, Linette G, Negrier S, Lutzky J, Thomas L, et al.** *Ipilimumab monotherapy in patients with pretreated advanced melanoma: a randomised, double-blind, multicentre, phase 2, dose-ranging study. Lancet Oncol. févr 2010;11(2):155164.*
- **Brahmer JR, Drake CG, Wollner I, Powderly JD, Picus J, Sharfman WH, et al.** *Phase I study of single-agent anti-programmed death-1 (MDX-1106) in refractory solid tumors: safety, clinical activity, pharmacodynamics, and immunologic correlates. J Clin Oncol Off J Am Soc Clin Oncol. 1 juill 2010; 28(19):31673175*
- **Hodi FS, O'Day SJ, McDermott DF, Weber RW, Sosman JA, Haanen JB, et al.** *Improved survival with ipilimumab in patients with metastatic melanoma. N Engl J Med. 19 août 2010; 363(8):711723*
- **Hoos A, Ibrahim R, Korman A, Abdallah K, Berman D, Shahabi V, et al.** *Development of ipilimumab: contribution to a new paradigm for cancer immunotherapy. Semin Oncol. oct 2010;37(5):533546*
- **Hanahan D, Weinberg RA.** *The Hallmarks of Cancer: the next generation. Cell 144(5):646-74. Cell 2011*
- **Robert C, Thomas L, Bondarenko I, O'Day S, M D JW, Garbe C, et al.** *Ipilimumab plus dacarbazine for previously untreated metastatic melanoma. N Engl J Med. 30 juin 2011; 364(26):25172526.*
- **Topalian SL, Hodi FS, Brahmer JR, Gettinger SN, Smith DC, McDermott DF, et al.** *Safety, activity, and immune correlates of anti-PD-1 antibody in cancer. N Engl J Med. 28 juin 2012; 366(26):24432454.*
- **Caux C. and Zitvogel L.** *Recent successes of cancer immunotherapy: a new dimension in personalized medicine? Targeted Oncol. 7:1-2, 2012.*
- **Wolchok JD, Kluger H, Callahan MK, Postow MA, Rizvi NA, Lesokhin AM, et al.** *Nivolumab plus Ipilimumab in Advanced Melanoma. N Engl J Med. 2 juin 2013;*
- **Wolchok JD, Hodi FS, Weber JS, Allison JP, Urba WJ, Robert C, et al.** *Development of ipilimumab: a novel immunotherapeutic approach for the treatment of advanced melanoma. Ann N Y Acad Sci. 17 juin 2013;*

Un long processus de recherche

La mise au point d'une molécule thérapeutique est longue et complexe. Plusieurs années, parfois des dizaines années, sont nécessaires au développement d'un nouveau médicament.

MSD, laboratoire pharmaceutique engagé dans la recherche contre le cancer.

Le laboratoire pharmaceutique MSD, c'est aujourd'hui 86 000 personnes dans le monde dont 15 000 se consacrent à la recherche. Merck Sharp & Dohme, également connu sous le nom de Merck & Co* aux Etats-Unis et au Canada, est présent sur l'Hexagone depuis 1961. Cet acteur de santé propose des médicaments, vaccins, thérapies biologiques, produits de santé animale et grand public dans plus de 140 pays. Et après avoir développé des molécules dans des classes thérapeutiques qui ont été novatrices dans le traitement de plusieurs maladies - diphtérie, varicelle, rougeole, hypertension artérielle, hypercholestérolémie, diabète... - le laboratoire pharmaceutique s'est plus récemment lancé dans la cancérologie.

Une histoire jalonnée de découvertes

Dans les années 30 déjà, le groupe privilégie la recherche et le développement. L'entreprise participe ainsi à la découverte puis à la synthèse de la vitamine B1, dont la carence provoque le béribéri. Résultant de malnutrition, cette maladie engendre une insuffisance cardiaque et des troubles neurologiques. Chez les nouveaux-nés, elle peut être mortelle. En 1942, MSD répond à la demande du gouvernement américain : il produit de la pénicilline, un antibiotique clé au très large spectre. Puis, en 1949, le laboratoire synthétise le premier dérivé de la cortisone, dont les applications sont également fort nombreuses. Quatorze ans plus tard, MSD élabore le premier vaccin contre la rougeole. Molécules contre les allergies et l'asthme ; contraceptifs oraux, anneaux et implants ; médicaments contre les troubles cardiovasculaires... Les champs d'action se multiplient. Dans les années 90, le groupe se lance dans la lutte contre le sida. Il a depuis proposé plusieurs molécules innovantes contre le VIH et le virus de l'hépatite C.

Complexe évaluation

Mais avant d'atteindre pareils succès, le chemin est long. Lorsqu'une molécule prometteuse est identifiée, elle doit encore être testée pendant une dizaine d'années en moyenne. Avant d'obtenir l'autorisation de mise sur le marché, elle doit aussi passer par de nombreux essais cliniques. Ces tests sont d'abord réalisés sur des personnes en bonne santé. Il s'agit d'évaluer la sécurité, de déterminer la posologie adaptée, de suivre le parcours de la molécule dans l'organisme. Eventuellement, on peut commencer à identifier des effets indésirables. Si elle passe cette première phase, la molécule est ensuite administrée à un groupe de malades. Cette fois, il sera essentiellement question de mesurer les effets thérapeutiques, le profil de sécurité de la molécule étant toujours évalué. Lorsque la balance bénéfices/risques est considérée comme recevable, la molécule peut ensuite entrer dans la troisième phase d'essais. Elle est alors évaluée à plus large échelle et, éventuellement, comparée à un autre traitement, lorsque ce dernier est disponible. L'ensemble de ces essais est évidemment consciencieusement documenté. Les nombreuses données enregistrées permettent ainsi de constituer les dossiers qui seront examinés par les autorités sanitaires qui, au final, autoriseront ou non la commercialisation du médicament, assortie d'un plan de gestion du risque permettant de compléter les données disponibles sur le médicament en conditions réelles d'utilisation. Long, complexe et coûteux, un tel processus met en jeu de très nombreux acteurs. A lui seul, un laboratoire pharmaceutique ne peut accomplir l'ensemble du chemin. Aussi, à chacune des étapes, s'allie-t-il à d'autres industriels ainsi qu'à des chercheurs et médecins d'institutions publiques. ■

ONCO-1116583-0000-octobre 2014

*Merck & Co., Inc (USA)

CONTEXTE Lundi 18 août, l'humanité aurait atteint son « jour du dépassement » selon une ONG, date à laquelle sa consommation de l'année excéderait ce que la nature est capable de générer en un an.

La planète vit-elle à crédit ?

ÉCOLOGIE L'association internationale Global Footprint Network (GFN) a fait ses calculs. En utilisant pour unité « l'hectare global », elle affirme qu'il existe, chaque année, un jour où l'humanité dépasse en consommation ce que la nature est capable de produire en un an. En l'occurrence le 18 août pour cette année.

Cette unité sert de base au calcul de l'empreinte écologique, soit la superficie nécessaire pour fournir les ressources consommées et assimiler les rejets d'une population donnée. Autrement dit, elle représente la « biocapacité » (la capacité de production de ressources et d'absorption de déchets) d'un hectare (en moyenne mondiale). Pour évaluer cette biocapacité, GFN se nourrit des données de 201 pays et d'organismes internationaux comme l'Agence internationale de l'énergie, la FAO (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture) ou encore le Giec (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat).

ULET NFANSASTI/GETTY IMAGES/AFP

La destruction des forêts (ici en Indonésie) entre dans le calcul de l'association GNF pour évaluer l'empreinte écologique.

L'idée selon laquelle les hommes utiliseraient chaque année les ressources d'« une Terre et demie » s'est peu à peu imposée dans les esprits ces dernières décennies. Elle trouve son origine dans le livre de l'écologiste William Rees, de l'université de Colombie-Britannique (Canada) et de son étudiant Mathis Wackernagel : *Our Ecological Footprint* (*Notre empreinte écologique*, 1996). Dans la continuité de ce travail, Wackernagel a créé GFN, qui fixe chaque année ce fameux « jour du dépassement » à partir duquel les humains vivent à crédit. En 2013, c'était le 20 août. En 2014, le 18 août. Comme si notre dette écologique empirait.

Mais si le message est frappant, il n'en reposerait pas moins sur des calculs lacunaires et insuffisamment réalistes, estiment d'autres experts américains et français. De

CONTEXTE Le 22 août, deux des 30 satellites de Galileo, le futur GPS européen, ont été placés sur une mauvaise orbite.

Sauvera-t-on les deux satellites de Galileo ?

ESPACE C'est « Fregat », le dernier étage de la fusée Soyouz, qui est en cause. Il était censé donner deux impulsions pour placer deux satellites de Galileo, le futur GPS européen, sur leur orbite de destination (*lire* S. et A. *n° 808, juin 2014*). Mais pour une raison encore inconnue, la seconde n'a pas été donnée dans la bonne direction. Que peut-on faire avec ces satellites en l'état ? « *S'il ne s'agissait que d'une question d'erreur d'altitude, il serait techniquement possible de remonter les satellites afin de circulariser leur orbite* », explique Michel Capderou chercheur au Laboratoire de météorologie dynamique (LMD) à l'École polytechnique. Les satellites sont actuellement sur une orbite trop basse de presque 4 000 km. Quelques poussées du moteur du satellite permettraient de la remonter. Mais il y a un autre problème. « *Le souci majeur est la mauvaise inclinaison de l'orbite*, poursuit Michel Capde-

fait, comment l'ONG parvient-elle à estimer un jour précis, alors qu'elle embrasse des problèmes aussi divers et complexes que le déclin de la biodiversité, la destruction des forêts primaires ou la fonte des glaciers et qu'elle travaille à des échelles très diverses ? Le calcul serait ainsi plus symbolique que pertinent, selon Peter Kareiva de l'Institut des sciences environnementales de l'université Santa Clara et Luns Blomqvist de l'Institut Breakthrough, aux États-Unis.

Le modèle comporte de nombreuses lacunes

En 2013, les chercheurs ont en effet détaillé les réussites du modèle — en ce qui concerne la pêche et les forêts par exemple —, mais ils ont mis en évidence *« ses nombreuses lacunes conceptuelles et techniques »* en matière d'agriculture, comme l'absence de prise en compte de l'érosion des sols ou de la quantité d'eau employée dans une région donnée, ou encore une focalisation excessive sur les surplus de carbone. *« Le concept d'empreinte écologique a été utile en son temps, en nous alertant sur l'urgence à prendre en compte l'impact des activités humaines sur les écosystèmes naturels,* reconnaît Peter Kareiva. *Mais désormais, les décideurs demandent des informations plus sophistiquées et plus réalistes. »*

Cet ancien chercheur de la National Oceanic and Atmospheric Administration prône la mise au point de nouveaux indicateurs pour refléter les *« tendances réelles »* de l'exploitation des ressources critiques comme les sols, les forêts, la faune et les réserves en eau potable. Et pour intégrer la valeur économique des différents écosystèmes, *« prendre en compte les particularités locales, la diversité régionale plutôt que d'assigner une valeur globale à la planète »*. L'élaboration de tels indicateurs est précisément son ambition avec l'Earth Genome Project, un projet alternatif ou plutôt rival de GFN, que le chercheur a lancé *via* sa propre ONG, Nature Conservancy, en collaboration avec l'université Stanford (Californie) et l'appui de... Google. Le géant américain de l'Internet y voit en effet une nouvelle opportunité pour son programme Google Earth. L'Earth Genome Project s'annonce ambitieux, richement doté et devra être suivi avec attention : il pourrait bien modifier en profondeur notre façon de *« calculer »* la planète. ■ **Rachel Mulot**

rou. *Elle est inclinée à 49,8 degrés alors qu'elle devrait être à 55 degrés.* » Les propulseurs du satellite sont peut-être capables de la redresser, mais l'opération serait très coûteuse en énergie. Cela réduirait automatiquement la durée de la mission, prévue pour douze ans.

Peut-on alors imaginer d'utiliser les satellites sur leur orbite actuelle ? Rien ne l'interdit, mais ils n'ont pas été prévus pour cela. Des corrections logicielles devraient être apportées pour compenser les données de positionnement faussées par l'orbite. C'est possible en théorie, mais on peut difficilement imaginer que deux satellites d'une constellation fonctionnent avec un logiciel différent des 28 autres... Le président du CNES, Jean-Yves Le Gall, semble avoir tranché : *« Les satellites ne peuvent pas assurer la mission Galileo,* a-t-il déclaré au magazine *l'Usine nouvelle. Ils seront toutefois utiles pour effectuer tous les tests en orbite et valider leur fonctionnement. »* Une manière polie de dire qu'on va rapidement les oublier. ■ **Erwan Lecomte**

JM CLAJOT-REPORTERS/REA

La nouvelle norme européenne en matière de pollution concerne surtout les moteurs diesels.

LE MOT DU MOIS

Euro 6

Depuis le 1er septembre, les véhicules particuliers sortant des chaînes de montage doivent obéir à de nouvelles normes d'émissions de polluants édictées par la Commission européenne. Ce passage d'Euro 5 (en vigueur depuis 2009) à Euro 6 concerne surtout les moteurs diesels : les émissions d'oxydes d'azote (NOx) de ce type de moteur devront passer de 180 milligrammes par kilomètre à 80, et les émissions combinées d'hydrocarbures et de NOx de 230 à 170 mg/km. Pour y parvenir, il existe deux méthodes principales. Renault montera en série un « NOx trap », ou « piège à NOx », un filtre placé entre le moteur et le filtre à particules. Constitué de métaux précieux, il capte ces gaz et les accumule dans un « magasin » où ils sont brûlés lorsque celui-ci est plein. La nouvelle Twingo, commercialisée cet automne, sera le premier modèle à en bénificier. PSA, de son côté, utilise le système SCR (Selective Catalytic Reduction) qui consiste à vaporiser de l'urée (libérant de l'ammoniac) sur les gaz d'échappement pour provoquer une réaction chimique qui neutralise les NOx. Ce procédé a l'avantage de fonctionner à plus basse température que le Nox trap, il est donc plus économe en énergie mais il serait plus fragile. Il est déjà monté en série depuis la fin 2013 sur les C4 Picasso et les Peugeot 508. L'application de la norme Euro 6 n'aura des effets bénéfiques sur la qualité de l'air des centres urbains que dans quelques années. Il faut en effet que le parc des 31,5 millions de voitures particulières roulant en France se renouvelle entièrement. Ce qui ne sera effectif que d'ici à 2030. ■ Loïc Chauveau

LES CONVERTISSEURS AUDIO

Par Henri-Pierre Penel

Accéder à la très haute fidélité

Le DAC, boîtier de conversion audio connecté entre un ordinateur et une chaîne hi-fi, améliore de façon convaincante le rendu des musiques enregistrées en numérique.

Pourquoi acquérir un convertisseur numérique ?

Qu'il s'agisse de *streaming*, c'est-à-dire d'écoute en direct, ou de téléchargement, l'ordinateur devient une source de musique à part entière. Cependant, même lorsqu'il est connecté à une chaîne de bonne qualité, l'écoute peut se révéler décevante. Car la carte son de l'ordinateur, qui assure la conversion entre les données numériques stockées sur le disque dur et les sorties analogiques destinées à connecter des enceintes ou une chaîne hi-fi, est souvent le parent pauvre. Pour des raisons de coût, les constructeurs préfèrent, en effet, privilégier la puissance du microprocesseur ou de la carte vidéo. Acquérir un convertisseur numérique/analogique externe, appelé DAC (Digital to Analog Converter), permet de se passer des services de la carte son et de profiter d'une écoute de bien meilleure qualité.

Pourquoi est-il performant ?

Le DAC est spécifiquement conçu pour la conversion des flux numériques en signal analogique destiné à piloter une chaîne hi-fi. Ses circuits électroniques, plus performants que ceux de l'ordinateur, ne sont pas parasités par le « brouillard électromagnétique » créé par les microprocesseur, disque dur et autres éléments internes d'un ordinateur, ce qui permet de conserver la pureté du message sonore.

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR

Par ailleurs, les circuits internes d'un DAC acceptent les formats de codage de musique les plus actuels. Ils travaillent souvent sur un nombre de bits et une fréquence d'échantillonnage plus importants que ce dont est capable la carte son. Or augmenter le nombre de bits permet d'analyser plus finement les fluctuations du signal sonore, donc sa dynamique. Et augmenter la fréquence d'échantillonnage —c'est-à-dire le nombre de fois où le signal est mesuré chaque seconde — étend vers l'extrême aigu la plage de fréquences que le procédé est capable de restituer. Ainsi, si le convertisseur d'un lecteur de CD audio (16 bits/44,1 kHz) offre une plage de fréquences s'étendant jusqu'à à 20 kHz et une dynamique d'environ 96 dB, un DAC (24 bits/192 kHz) étend cette plage jusqu'à 96 kHz avec une dynamique atteignant 144 dB. Rappelons que ces valeurs sont théoriques ; aucun dispositif ne permet de les atteindre, mais les meilleurs modèles s'en approchent.

Comment se connecte-t-il ?

Un DAC vient s'insérer entre l'ordinateur et un casque ou une chaîne hi-fi. Côté ordinateur, il faut raccorder un cordon USB, généralement fourni avec l'appareil, à l'un des ports USB. Côté chaîne, il faut utiliser des cordons analogiques, souvent fournis, pourvus de prises RCA blanches et rouges pour distinguer les canaux

droit et gauche. On utilise pour cela l'une des entrées dites « Aux » ou « Line » de l'amplificateur. Enfin il faut se rendre dans le menu de configuration de l'ordinateur pour lui préciser l'utilisation d'un DAC externe en lieu et place de sa carte son interne. Pour cela, il suffit de cliquer sur le nom du DAC qui apparaît dans la liste des sorties audio disponibles.

Peut-on connecter d'autres sources à un convertisseur?

Certains DAC disposent d'un port USB en façade réservé aux équipements nomades, tels que disque dur de poche ou clé USB, et permettant de lire leur contenu. La qualité de restitution sera fonction de l'encodage des fichiers musicaux stockés. Par ailleurs, les convertisseurs disposent souvent d'au moins une entrée optique qui peut être mise à profit pour répercuter le son d'un téléviseur sur une chaîne hi-fi. Cette même entrée peut aussi servir à optimiser le son provenant d'un lecteur de CD bon marché dont les circuits de conversion sont souvent de qualité moyenne.

Peut-on s'en servir avec un casque ?

Un casque audio peut tout à fait être connecté à un DAC et offrir ainsi une qualité d'écoute très satisfaisante pour un prix raisonnable. Toutefois, il est préférable de disposer d'un casque suffisamment performant pour exploiter au mieux les capacités du convertisseur.

Banc d'essai pages suivantes ▶

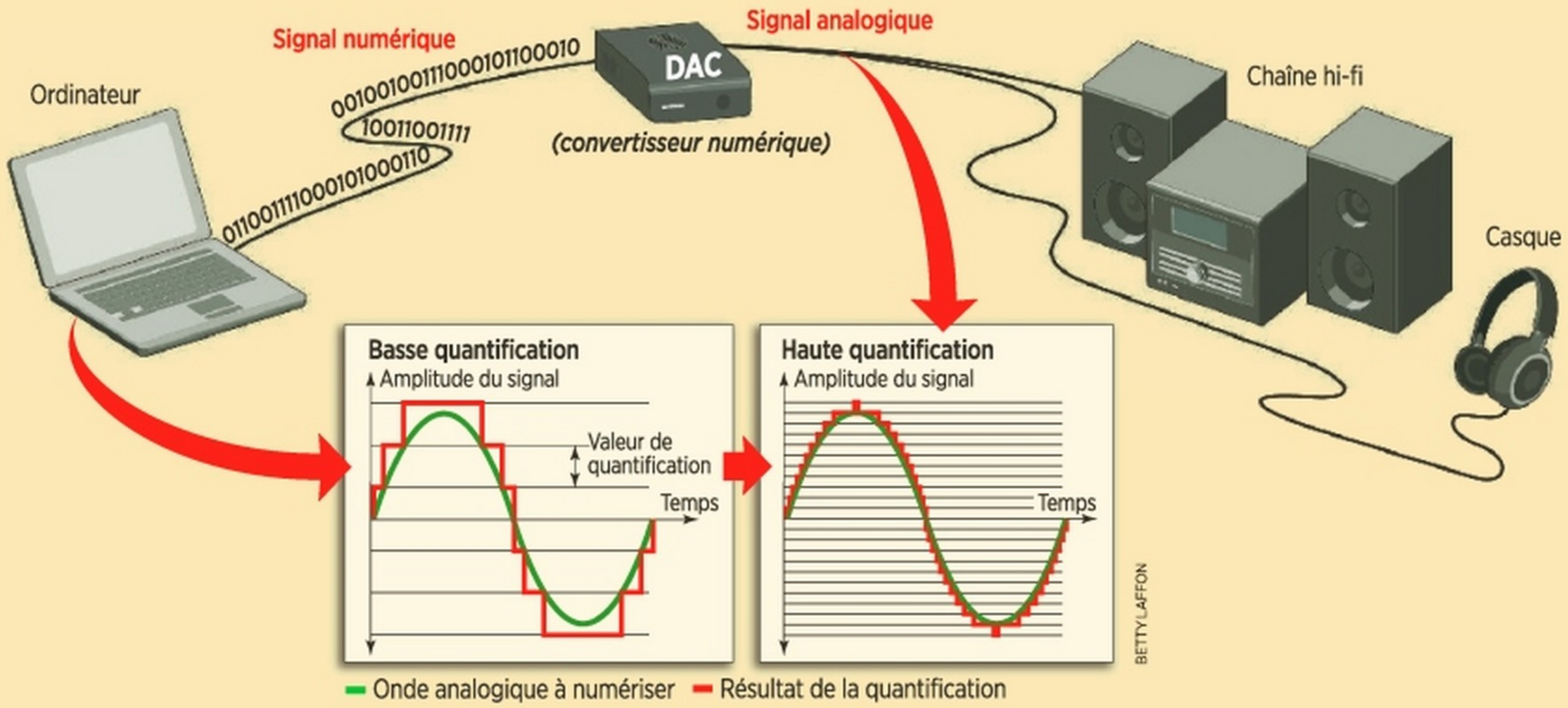
PHYSIOLOGIE

Pourquoi faire mieux que ce que peut percevoir notre oreille ?

Les chiffres qu'affichent les convertisseurs, notamment en termes de dynamique et de plage de fréquence reproduite, peuvent sembler démesurés par rapport à ce que peuvent percevoir nos oreilles. En effet, notre ouïe est sensible à des fréquences sonores comprises entre une vingtaine d'hertz et, au mieux, 20 kHz chez un jeune auditeur et 15 kHz chez un adulte d'une cinquantaine d'années. De même, le seuil de douleur auditive apparaît dès 120 dB. Les performances des convertisseurs — 96 kHz/144 dB — sont donc bien supérieures à notre capacité d'écoute. Pourtant, l'écart de finesse d'écoute entre la lecture issue d'un DAC et celle d'un CD est parfaitement audible, même par une oreille peu expérimentée. Car il semblerait que nous percevions certaines fréquences extrêmes sans en avoir conscience. Par ailleurs, tout système électronique ou numérique introduit des déformations du signal musical dès l'approche des fréquences limites qu'il est capable de restituer, souvent même bien avant. Ces déformations se produisent dès lors sur des fréquences perceptibles par nos oreilles. D'où l'intérêt de disposer d'une très large marge de fréquences reproductibles par rapport à celles que nous pouvons réellement percevoir.

Mieux « coller » à la réalité

Un convertisseur récupère le signal numérique d'un ordinateur pour ensuite l'encoder avec un nombre plus important de bits et en utilisant une fréquence d'échantillonnage supérieure. L'effet « marche d'escalier » est ainsi nettement atténué.



LES CONVERTISSEURS AUDIO

	NuForce μDAC3	**Micromega** My Dac	**MusicalFidelity** V90-DAC
Prix indicatif	129 €	290 €	290 €
Résolution - fréquence maximale	24 bits - 192 kHz.	24 bits - 192 kHz	24 bits - 192 kHz
Réponse en fréquence	Non précisé	5 Hz à 100 kHz	20 Hz à 20 kHz
Rapport signal/ bruit - distorsion	98 dB - 0,05 %	110 dB - 0,002 %	117 dB - 0,004 %
Connectique	Entrée : micro-USB. Sorties : analogique sur RCA, coaxiale, casque	Entrées : USB B, optique, coaxiale Sortie : analogique sur RCA	Entrées : USB B, 2 x optique, coaxiale Sortie : analogique sur RCA
Amplificateur casque	Oui, 2 x 80 mW	Non	Non
Batterie interne	Non	Non	Non
Dimensions - Poids	68 x 38 x 21 mm - 80 g	140 x 140 x 35 mm - 300 g	170 x 47 x 102 mm - 600 g
Les plus	Autoalimenté par le port USB, petites dimensions	Double circuit d'horloge pour une conversion optimale, utilisation simple	Suréchantillonnage 32 bits/192 kHz, deux entrées optiques
L'avis de Sciences et Avenir	Parfait pour être associé à un ordinateur portable. Miniaturisé, c'est l'accessoire idéal pour accéder n'importe où à ses musiques préférées en haute qualité.	De multiples entrées qui permettront aussi d'améliorer le son d'un lecteur CD, ou de répercuter le son de la TV sur une chaîne hi-fi.	Pour encore plus de finesse de restitution, il exploite des circuits numériques internes travaillant en 32 bits. Une performance à exploiter sur une chaîne de qualité.

	Denon DA-300 USB	**Arcam** AirDAC	**Teac** HA-P50
Prix indicatif	399 €	490 €	499 €
Résolution - fréquence maximale	32 bits - 192 kHz	24 bits - 96 kHz	24 bits - 96 kHz
Réponse en fréquence	2 Hz à 96 kHz	10 Hz à 20 kHz	10 Hz à 100 kHz (*via* entrée analogique)
Rapport signal/ bruit - Distorsion	112 dB - 0,0018 %	106 dB - 0,002 %	Non précisé - 0,001 %
Connectique	Entrées : USB B, 2 x optique, coaxiale Sorties : analogique sur RCA, casque	Entrées : optique, coaxiale, Éthernet. Sorties : analogique sur RCA, coaxiale, casque.	Entrées : USB A, USB B, optique/ analogique. Sortie : casque
Amplificateur casque	Oui, 2 x 130 mW	Non	Oui, 2 x 160 mW
Batterie interne	Non	Non	Oui, autonomie 8 h
Dimensions - Poids	170 x 57 x 182 mm - 1,5 kg	190 x 44 x 120 mm - 1,1 kg	68 x 23 x 126 mm - 210 g
Les plus	Compatible DSD 64 (2,8 MHz) et DSD 128 (5,6 MHz), suréchantillonnage 32 bits/192 kHz	Wi-Fi intégré compatible Air Play et DLNA, fonction lecteur réseau	Recharge par USB ou par adaptateur optionnel
L'avis de Sciences et Avenir	Il peut traiter de très nombreux flux audio haute définition. Il s'installe soit verticalement, soit horizontalement pour s'intégrer dans une installation hi-fi.	Grâce à sa liaison wi-fi, ou son port Ethernet, il fait aussi office de lecteur réseau en accédant aux contenus sur un ordinateur, smartphone ou tablette.	Dédié au nomadisme, ce convertisseur fait aussi office d'amplificateur pour casque en vue d'améliorer le son d'un baladeur, par exemple.

Asus Xonar Essence STU	**ADL** X1
299 €	389 €
24 bits - 192 kHz	24 bits - 192 kHz
10 Hz à 48 kHz	20 Hz à 20 kHz
120 dB - 0,00036 %	102 dB - 0,033 %
Entrées : USB B, optique, coaxiale analogique. Sorties : analogique sur RCA, casque.	Entrées : USB A, mini-USB, analogique Sorties : analogique/optique, casque
Oui, conçu pour les casques jusqu'à 600 ohms	Oui, 2 x 86 mW
Non	Oui, autonomie 7h30
210 x 35 x 172 mm - 1 kg	68 x 16,5 x 118 mm - 147 g
Réglage de volume indépendant du casque et de l'amplificateur, amplificateurs analogiques amovibles pour personnalisation	Convertisseur à usage nomade, batterie interne
Le double réglage de volume permet de doser indépendamment le niveau d'écoute au casque et celui d'enceintes ou d'une chaîne hi-fi.	Il fait également office d'amplificateur pour casque. Ses entrées sont compatibles avec les produits Apple et les smartphones sous Android.

NAD D3020	**AMI** Musik
549 €	639 €
24 bits - 192 kHz	24 bits - 192 kHz
20 Hz à 20 kHz	20 Hz à 48 kHz
90 dB - 0,005 %	120 dB - 0,0005 %
Entrées : USB B, optique, coaxiale, 2 x analogique. Sorties : enceintes, casque	Entrées : USB B, optique, coaxiale Sorties : analogique sur RCA, casque
Oui + amplificateur hi-fi 2 x 30 W	Oui, 2 x 150 mW conçu pour les casques jusqu'à 600 ohms
Non	Non
219 x 58 x 186 mm - 1,38 kg	150 x 40 x 140 mm - 2 kg
Amplificateur hi-fi intégré, Bluetooth apt-X	Compatible DSD 64 (2,8 MHz) et DSD 128 (5,6 MHz), circuits de haute qualité et finitions haut de gamme.
Sa particularité : se substituer à un amplificateur hi-fi conventionnel. Il pilote directement des enceintes et délivre une puissance de 2 x 30 watts.	Son amplificateur interne pour casque offre une grande qualité d'écoute, tout comme ses sorties analogiques à connecter à un amplificateur.

Grundig Cosmo 3F+Web

Terminal d'écoute

Plus qu'une radio, la Cosmo 3F+WEB de Grundig est un « terminal d'écoute ». Elle accède au service v-Tuner et peut ainsi recevoir, par Internet, plus de 15 000 radios. Elle permet également d'écouter les podcasts de ses émissions préférées ou les contenus de son ordinateur. Enfin, son port USB lui donne accès aux musiques stockées sur un support nomade.

149 €

Bidul&Co I-USBKey

La clé USB qui s'adapte à tous les modes

La startup lyonnaise Bidul&Co propose une clé USB universelle. Elle dispose d'un connecteur iPhone/iPad à une de ses extrémités, et d'une prise USB à l'autre lui permettant d'être opérationnelle dans un environnement Apple, Android ou Windows. Elle fait même office de « passerelle » entre ces différents mondes.

De 49,90 € à 79,90 € suivant capacité (8, 16 ou 32 Go)

Knog Qudos Action

Sports extrêmes en lumière

Qudos Action, conçu par Knog, est le premier éclairage puissant étudié pour s'adapter aux sportcams, type GoPro. En dépit de ses 150 g, ce projecteur délivre une lumière intense grâce aux trois LED haute luminosité qui l'équipent. Étanche à 40 m, cet accessoire s'adresse aussi aux amateurs de plongée.

99,95 €

LE CIEL D'OCTOBRE

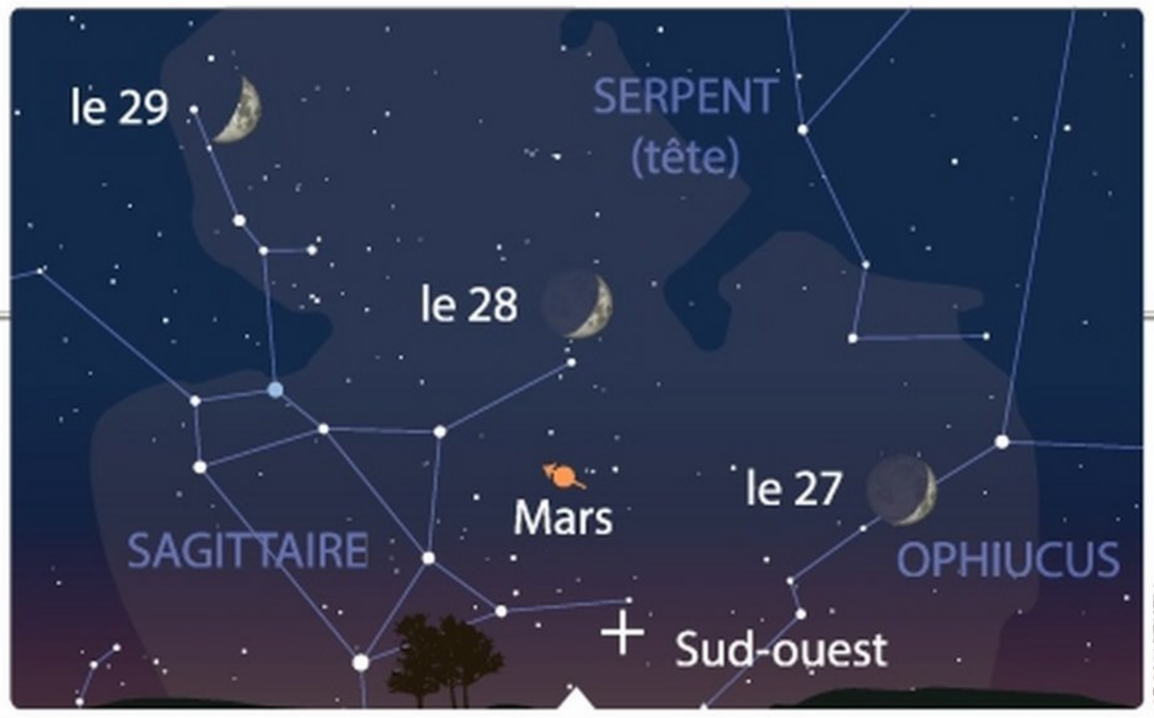
Par Johan Kieken

Où sont les planètes ?

MERCURE La petite planète atteindra sa distance angulaire maximale à l'ouest du Soleil le 1er novembre. On profitera d'un écliptique bien relevé le matin pour l'observer : elle est visible à l'aube vers l'est-sud-est durant la dernière semaine d'octobre, précédant le lever de l'astre du jour de 1 h 45 minutes le vendredi 31.

VÉNUS L'étoile du berger est quasiment inobservable car beaucoup trop proche de la direction de notre étoile. Elle est d'ailleurs en conjonction supérieure avec le Soleil le samedi 25.

MARS La planète Rouge est visible en soirée, basse vers le sud-ouest. Son éclat semble maintenant bien terne par rapport à celui qu'elle présentait au début de printemps. Elle se couche tout le mois moins de trois heures après le Soleil.



La Lune passe à 6° au nord de Mars.

Un rubis posé sur l'écrin de la Voie lactée

LE 28, UNE HEURE ET DEMIE APRÈS LE COUCHER DU SOLEIL, LA NUIT EST PRESQUE TOTALEMENT NOIRE. La planète Mars, entrée dans la constellation du Sagittaire le 21, poursuit son chemin à travers le zodiaque. Son déplacement entre le 27 et le 29, période pendant laquelle la Lune la rattrape puis la dépasse, est indiqué par une flèche. Mars n'est alors qu'à 6° de la direction du centre de notre galaxie, signalée par une croix. Elle traverse donc une zone très riche du ciel, emplie d'amas d'étoiles et de nébuleuses.

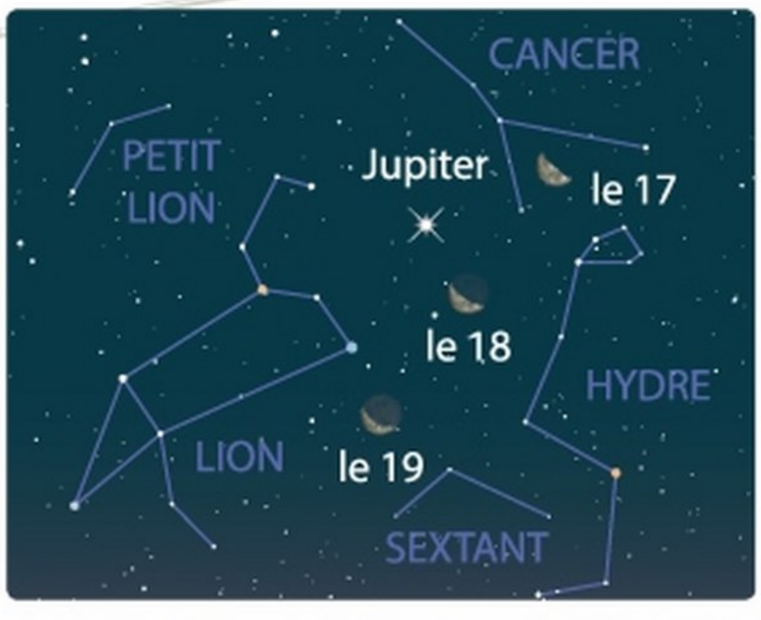
Notre conseil. Voir Mars et la Lune ne pose aucun problème avec un horizon sud-ouest bien dégagé. Détecter la faible lueur de la Voie lactée nécessite toutefois un ciel très pur et sec.

JUPITER La planète géante est désormais bien visible en seconde partie de nuit. Alors que pointent les lueurs de l'aube, on la retrouve à une cinquantaine de degrés de hauteur vers le sud-est en milieu de mois. Le 14, Jupiter quitte la constellation du Cancer pour entrer dans celle du Lion.

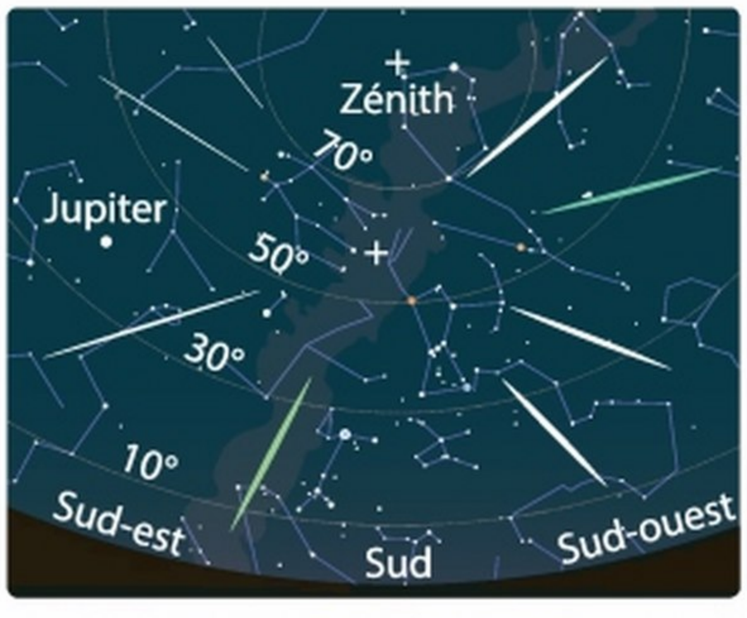
SATURNE Elle ne se montre plus que timidement en soirée, basse vers le sud-ouest, et se noie progressivement dans les lumières du crépuscule. Si Saturne se couche 1 h 40 après notre étoile le 1er, elle ne le fera que 50 min plus tard le 31.

L'appli du mois

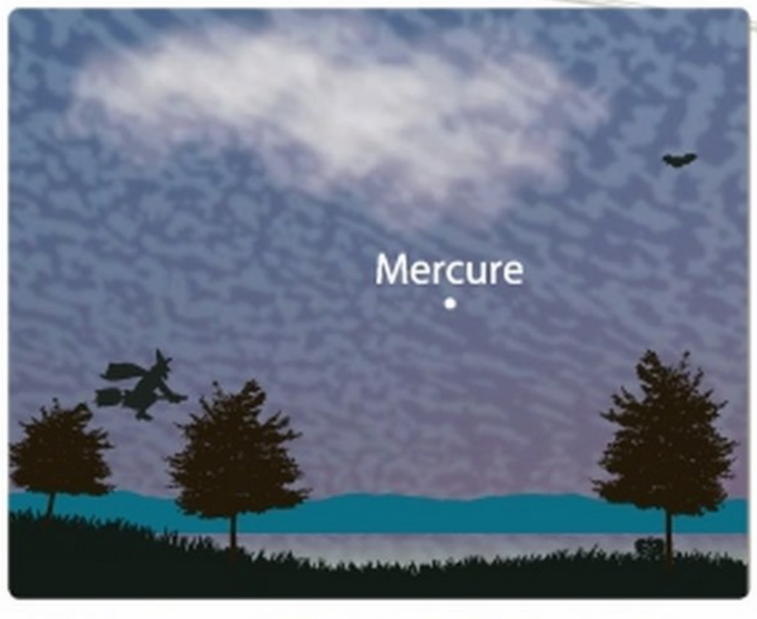
PRO HORLOGE ASTRONOMIQUE LWP est une petite application Android payante (0,99 €) en anglais. Elle se présente sous forme de fond d'écran animé qui donne en temps réel la position des huit planètes sur leur orbite, ainsi que celle de la Lune et des satellites de Mars et de Jupiter.



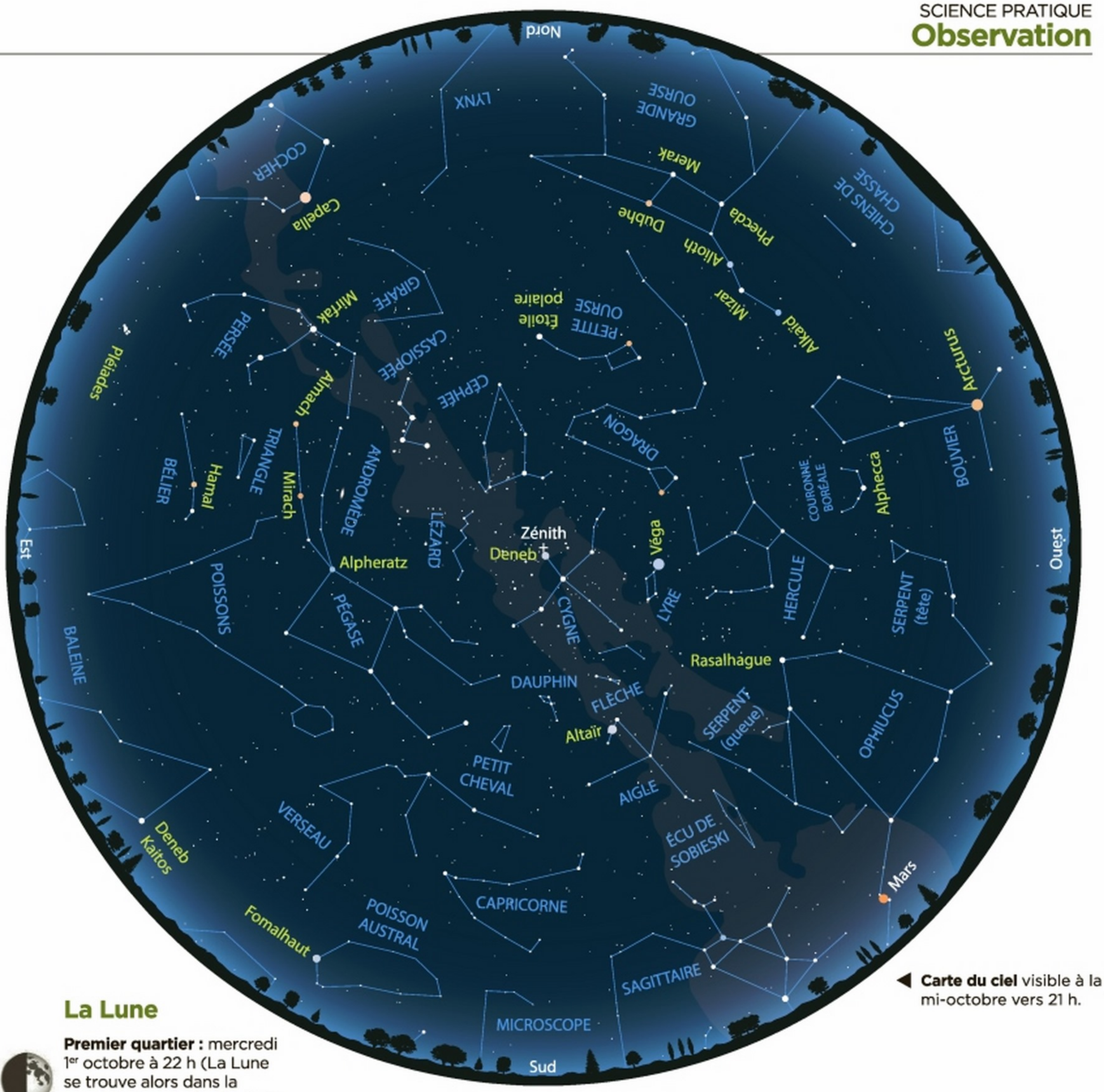
LE 18, DANS LES DERNIÈRES HEURES DE LA NUIT, la Lune rend visite à Jupiter. La scène est figurée ici à 6 h 30. La brillante planète se situe alors à mi-hauteur dans le ciel, vers l'est-sud-est.



AUTOUR DU 21, EN FIN DE NUIT, vous pouvez admirer le retour des Orionides pour quelques jours. Sous un ciel bien noir, il sera possible de comptabiliser une quinzaine d'étoiles filantes par heure.



LE 31, 45 MINUTES AVANT LE LEVER DU SOLEIL, jetez un coup d'œil vers l'est-sud-est. Le point brillant à une dizaine de degrés de hauteur n'est autre que la discrète planète Mercure.



◀ **Carte du ciel** visible à la mi-octobre vers 21 h.

La Lune

Premier quartier : mercredi 1er octobre à 22 h (La Lune se trouve alors dans la constellation du Sagittaire) et vendredi 31 octobre à 4 h (Capricorne).

Pleine Lune : mercredi 8 octobre à 13 h (Poissons)

Dernier quartier : mercredi 15 octobre à 21 h (Gémeaux)

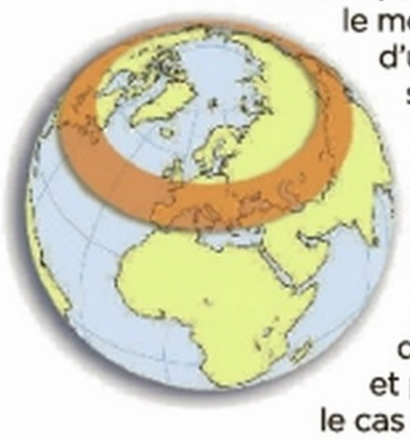
Nouvelle Lune : vendredi 24 octobre à 0 h (Vierge)

Le Soleil

(à Paris)	Lever	Coucher
1er octobre	7 h 50	19 h 30
31 octobre	7 h 36	17 h 32

D'où voir le ciel

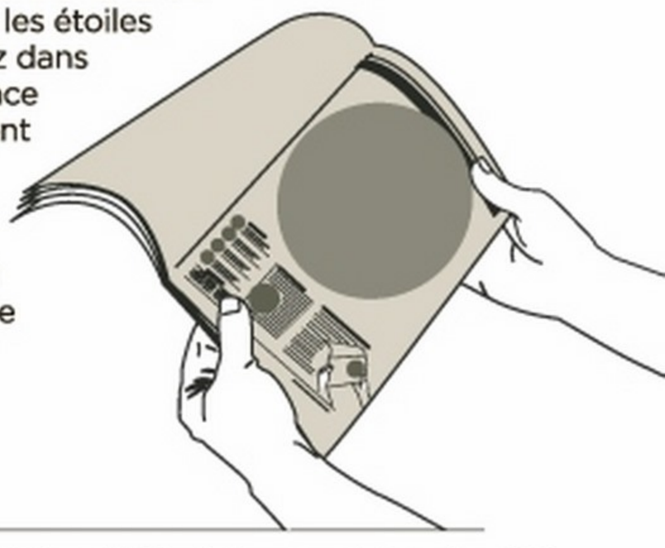
Notre carte tracée pour une latitude de 47° nord montre le ciel visible en France métropolitaine, et plus largement en Europe et dans le monde, à l'intérieur d'une bande s'étendant de 40 à 54° de latitude nord. Si vous êtes au nord du 47e parallèle, l'étoile Polaire sera plus haute dans votre ciel et plus basse dans le cas contraire.



Les heures sont données en heure légale française (temps universel + 2h jusqu'au 25 octobre, + 1 h ensuite).

Comment utiliser cette carte

Faites tourner votre magazine sur lui-même, de façon à ce que le nom de la direction dans laquelle vous observez soit écrit à l'endroit. Les constellations et les étoiles que vous retrouverez dans le ciel qui vous fait face sont toutes celles dont le nom est lisible sans trop pencher la tête. La position des planètes visibles à l'œil nu est indiquée pour le 15 du mois.



EXPOSITIONS

Arras (62)

Le château de Versailles en 100 chefs-d'œuvre
Après le Louvre-Lens et le Centre Pompidou-Metz, voici la troisième initiative de décentralisation d'un établissement public, avec pour objectif de faire ressentir au public les différentes ambiances de Versailles, les secrets, les personnages, à travers des peintures, des sculptures, du mobilier, des objets d'art.
Musée des Beaux-Arts, 22, rue Paul-Doumer, jusqu'au 20 mars 2016. Rens. : 03.21.71.26.43.

Le Bourget (93)

La Grande Guerre des aviateurs
S'appuyant sur de nombreux témoignages écrits et visuels, le parcours cherche à rendre compte de la réalité des missions et des combats, mais aussi des expériences de guerre des aviateurs.
Musée de l'Air et de l'Espace, aéroport du Bourget, du 5 octobre au 25 janvier 2015. Rens. : 01.49.92.70.00.

Le Havre (76)

Jeux d'eau : ondes, vagues, tourbillons
Partir à la découverte des mécanismes qui président à la formation des vagues et des tourbillons dans un parcours jalonné d'installations d'eau, dont certaines réalisées conjointement par des artistes et des physiciens.
Muséum d'Histoire naturelle, place du Vieux-Marché, jusqu'au 4 janvier 2015. Rens. : 02.35.41.37.28.

Lille (59)

Neandertal l'Européen
Une présentation des découvertes récentes en Belgique et en France, ainsi que des spécimens rares et non accessibles au public des collections géologiques du musée.
Musée d'Histoire naturelle, 19, rue de Bruxelles, jusqu'au 4 janvier 2015. Rens. : 03.28.55.30.80.

Paris / Exposition

C3RV34U, l'expo neuroludique

SCÉNORAMA, D. GANDON ET J.C. PONCE

La première partie de l'exposition est consacrée à la description du cerveau.

Pour ce nouvel espace consacré au cerveau et aux neurosciences, la Cité des sciences s'est adjoint les services du neuroscientifique français Stanislas Dehaene. *« Nous avons voulu une ambiance un peu surréaliste, une atmosphère magrittienne »*, commente-t-il. Et c'est effectivement l'atmosphère de *L'Homme au chapeau melon* qui baigne la première partie du parcours, consacrée à la description du cerveau. On y touche des répliques de cet organe, on y découvre comment il grandit chez l'enfant, comment il diffère d'une personne à l'autre, grâce à des reproductions imprimées en 3D. Le tout avec des images réalisées au centre d'imagerie cérébrale Neurospin de Saclay (Essonne). On descend ensuite à l'échelle cellulaire, pour découvrir les neurones et la façon dont ils sont connectés. Dans la deuxième partie de l'exposition, le visiteur devient acteur à part entière, en réalisant des petites expériences simples permettant de comprendre comment le cerveau réagit, apprend (par exemple à corriger des défauts visuels) ou comment il nous permet d'avoir conscience de notre corps. Une initiation originale au savoir sur le cerveau, accessible à tous, y compris aux enfants. ■ **Mathieu Nowak**

Cité des sciences et de l'industrie, 30, avenue Corentin-Cariou Rens. : 01.40.05.80.00.

Sésostris III, pharaon de légende
Consacrée à ce roi d'Égypte, l'exposition réunit 300 œuvres, dont les deux tiers proviennent de musées internationaux, complétées par des œuvres contemporaines sur le thème de la vie après la mort.
Palais des Beaux-Arts, place de la République, du 9 octobre au 25 janvier 2015. Rens. : 03.20.06.78.00.

Moulins (03)

Shakespeare, l'étoffe du monde
De l'évocation d'un théâtre élisabéthain aux plus beaux costumes d'Hamlet, les facettes de l'univers de l'auteur dramatique sont dévoilées pour le 450e anniversaire de sa naissance, avec plus de 100 costumes portés essentiellement sur les scènes françaises depuis un siècle.
Centre national du costume de scène, quartier Villars, route de Montilly, jusqu'au 4 janvier 2015. Rens. : 04.70.20.76.20.

Nice (06)

Musée national du sport
C'est le premier musée consacré au sport en France. Draisienne et autres cycles de légende, ballons, raquettes, survêtements et costumes des plus célèbres athlètes... pour raconter l'histoire sportive de l'Antiquité à nos jours.
Stade Allianz Riviera, boulevard des Jardiniers. Rens. : 04.89.22.44.00.

Paris (75)

Évolution(s) d'une galerie
La grande galerie de l'Évolution fête ses 10 ans. Inaugurée en 1994 après une fermeture de près de 30 ans, elle succédait à la galerie de Zoologie créée en 1889 Cette exposition retrace cette métamorphose.
Muséum national d'histoire naturelle, grande galerie de l'Évolution, 36, rue Geoffroy-Saint-Hilaire, jusqu'au 9 février 2015. Rens. : 01.40.79.56.01.

La vie mystérieuse des anguilles
Réalisée par le parc naturel régional du Marais poitevin en collaboration avec le Muséum, cette exposition raconte le cycle de vie des anguilles, les recherches en laboratoire, les menaces qui pèsent sur l'espèce ou encore la pêche et la gastronomie.
Aquarium tropical de la Porte Dorée, 293, avenue Daumesnil, jusqu'au 9 novembre.
Rens. : 01.53.59.58.60.

Bazarasons
Une initiation au monde sonore à l'écoute des bruits et de la musique avec une vingtaine d'instruments. À partir de 4 ans.
Palais de la Découverte, avenue Franklin-Roosevelt, jusqu'au 2 novembre.
Rens. : 01.56.43.20.20.

Ma Terre vue de l'espace
Exposition conçue avec la fondation GoodPlanet : une série d'images satellite couplées avec les photographies aériennes de Yann Arthus-Bertrand, avec un focus particulier sur l'eau.
Pavillon de l'eau, 77, avenue de Versailles, jusqu'au 30 décembre.
Rens. : 01.42.24.54.02.

La Réunion (97) / Musée

CITÉ DU VOLCAN

La Cité du volcan

L'île volcanique de La Réunion a surgi du fond de l'océan Indien, il y a trois millions d'années. Le piton de la Fournaise, un des volcans les plus actifs au monde, façonne ses paysages. 6000 m² d'exposition lui sont désormais consacrés grâce à la réhabilitation de la Maison du volcan, créée en 1992. De quoi atteindre l'objectif de 200 000 visiteurs par an. Parmi les dispositifs muséographiques : un tunnel de lave et un bathyscaphe pour parcourir virtuellement les pentes sous-marines du volcan. **M. N.**
Plaine-des-Cafres, RN3 Bourg Murat. Rens. : +262.59.00.26.

Culture TV
Conçue en collaboration avec l'Institut national de l'audiovisuel, cette exposition retrace les 80 ans d'histoire de la télévision française.
Musée des Arts et Métiers, 60, rue Réaumur, jusqu'au 8 mars 2015.
Rens. 01.53.01.82.00.

Pleumeur-Bodou (22)

Les illusions d'optique
Des observations et des manipulations pour découvrir ce qu'est une illusion d'optique et comprendre les rôles essentiels que jouent dans ces phénomènes la lumière, les yeux et le cerveau.
Cité des télécoms, parc du Radôme. Rens. : 02.96.46.63.80.

ET AUSSI

PARTENARIAT SCIENCES AVENIR

Limites de la Terre : redéfinir nos besoins et nos priorités
L'université populaire redémarre un cycle de conférences en partenariat avec *S. et A.*, autour du thème « Révolutions invisibles : tu peux changer ta vie ». La conférence d'octobre se déroulera en présence de Philippe Bihouix, ingénieur et auteur de *L'Âge des low tech* (Seuil) et de Vaia Tuuhia, déléguée générale de l'association 4D (Dossiers et débats pour le développement durable).
Mairie du IIe arrondissement, 8, rue de la Banque, le 14 octobre à 19 h.
Rens. : 01.53.29.74.87.

PARTENARIAT SCIENCES AVENIR

Pariscience
Ce festival international du film scientifique fête ses 10 ans. Une cinquantaine de films projetés gratuitement et suivis de rencontres avec leurs auteurs et des experts scientifiques. Une compétition récompensera les longs-métrages. Dominique Leglu, directrice de la rédaction de *S. et A.*, fait partie du jury.
Muséum, Institut de physique du globe et université Pierre-et-Marie-Curie, du 2 au 7 octobre.
Programme sur www.pariscience.fr

Grenoble (38)

Que reste-t-il à découvrir ?
Seconde édition du forum « Les fondamentales » organisé par le CNRS. Au programme : des conférences inédites de 10 minutes pour aborder un thème sous différents angles, des débats, des espaces de discussion libre avec des chercheurs, etc.
Campus Saint-Martin-d'Hères, les 10 et 11 octobre (sur inscription).
Programme et inscriptions sur http://lesfondamentales.cnrs.fr/

Labège (31)

Scientilivre
Ce « festival de découverte sciences et livres » propose des dizaines d'ateliers scientifiques sur plus de 2000 m² d'animations. Le thème de l'édition 2014 : l'image, déclinée à travers le cinéma, la photographie, l'observation de la Terre et de l'espace... Avec la participation d'Olivier Lascar, rédacteur en chef du site sciencesetavenir.fr.
Centre des Congrès Diagora Toulouse-Labège, 105, rue Pierre-Gilles-de-Gennes, les 18 et 19 octobre.
Rens. : 05.61.00.59.97.
Programme complet sur www.deliresdencre.org

Partout en France

Fête de la science
Le rendez-vous annuel entre chercheurs et citoyens se déroulera du 26 septembre au 19 octobre.
Programme complet sur www.fetedelascience.fr/

Paris / Cinéma

PARTENARIAT SCIENCES AVENIR

Hidden Universe

GEODE&IMAX

Alma, au Chili, compte 66 radiotélescopes.

Voir sur écran géant combien, dans un univers immense, l'homme est *« petit mais pas insignifiant »*. L'expérience Hidden Universe nous entraîne sur les pas de trois passionnés à la recherche des secrets de l'Univers. Une enquête menée à l'aide du VLT (Très Grand télescope) et des antennes radio d'Alma, situés dans le désert d'Atacama, au Chili. Un hommage aux capacités fédératrices de l'homme pour explorer son milieu doublé d'un hommage à l'infiniment grand qui l'entoure. Les deux servis par des images superbes. **M. N.**
La Géode, 26, avenue Corentin-Cariou, à partir du 15 octobre.
Rens. : 01.40.05.79.99.

« Sciences et Avenir » invite 90 personnes à découvrir ce film. Pour tenter votre chance, connectez-vous sur : http://petitlien.fr/812concours

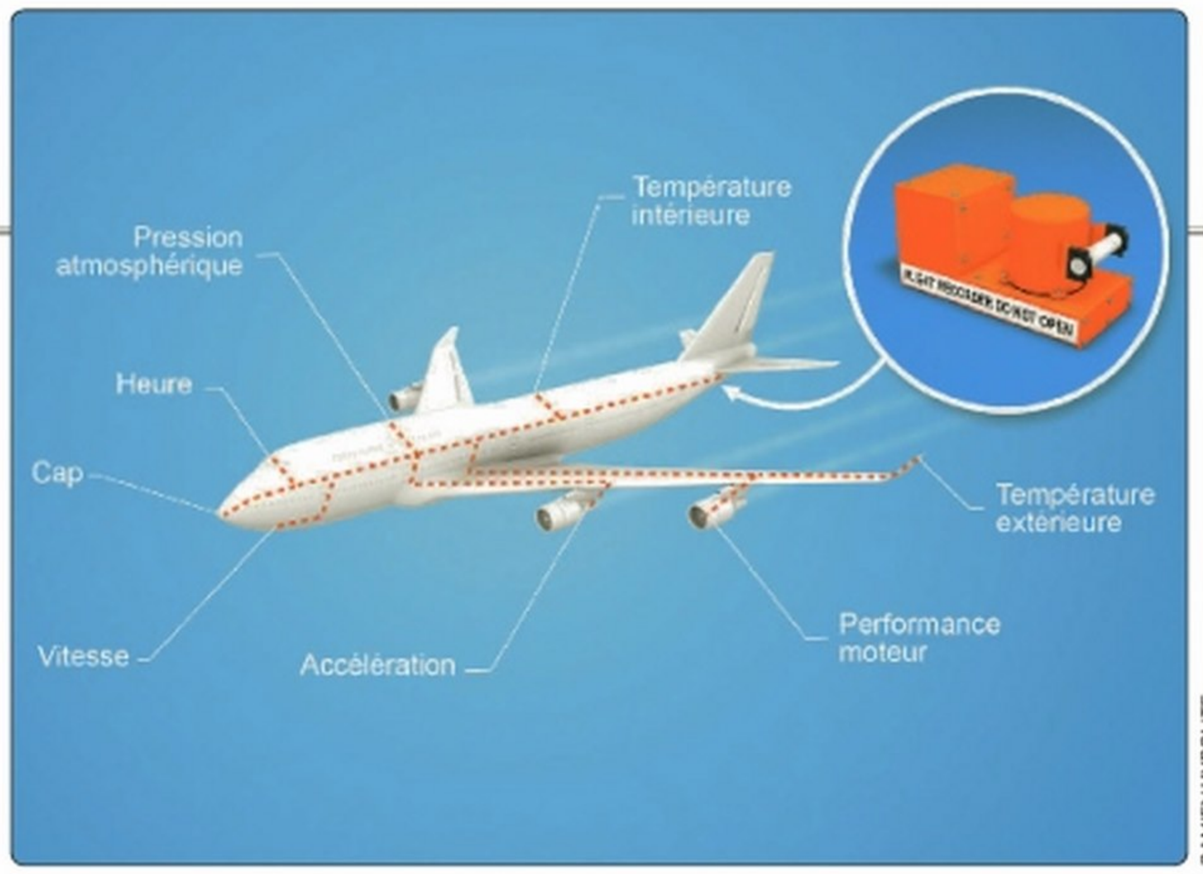
L'INFO SCIENTIFIQUE EN CONTINU
sciencesetavenir.fr
DISPONIBLE SUR IPHONE/ IPAD, ANDROID ET TOUS LES SMARTPHONES

TENDANCE 2.0

« Sans-dents ». La formule attribuée par Valérie Trierweiler au président Hollande pour désigner les plus démunis a tapé dans le mille. D'abord parce que l'expression #SansDents a connu une flambée sur Twitter. Ensuite, parce que le coût des soins dentaires pousse effectivement de plus en plus de Français à y renoncer. Selon les derniers chiffres de l'IRDES, ils arrivaient en tête des renoncements

B.R. PRODUCTIONS/SPA

à l'accès aux soins pour raisons financières. Si de nombreuses prestations sont remboursées par la Sécurité sociale à hauteur de 70 %, les tarifs des prothèses (couronnes, bridges...) sont fixés librement par le chirurgien-dentiste. Avec *« tact et mesure »*, selon l'assurance-maladie. Dans les faits, les tarifs s'envolent. Et le remboursement ne suit pas ! **O. L.**
http://sciav.fr/812dents



DAMIEN HYPOLITE

Au cœur d'une boîte noire

INFOGRAPHIE. Ces derniers mois ont été marqués par une rafale de catastrophes aériennes. Le 8 mars, le vol MH 370 de la Malaysia Airlines disparaissait corps et biens. Le 17 juillet, un autre Boeing 777, de cette même compagnie asiatique, était abattu dans l'est de l'Ukraine. Le 23 juillet, un avion s'écrasait au large de Taïwan. Le 24 juillet, c'était au tour d'un appareil d'Air Algérie, faisant 116 victimes. Ces accidents ont chacun des causes particulières, mais l'étude des boîtes noires — lorsqu'elles sont retrouvées — est déterminante pour comprendre le déroulement des événements. Comment fonctionnent ces dispositifs électroniques ? La réponse dans notre vidéo « 2 minutes pour comprendre ».
http://sciav.fr/812infog

LES ARTICLES LES PLUS LUS

L'IVRESSE DU SOMMEIL

Santé. Elle se caractérise par une très grande difficulté, voire une impossibilité, de se lever le matin. Et affecterait 1 personne sur 7.
http://sciav.fr/812ivresse

L'AMIBE DÉVOREUSE DE CERVEAU

Nature. Des communes du sud des États-Unis ont détecté la présence d'une amibe redoutable dans leur système de distribution d'eau potable. Elle provoque la mort dans 95 % des cas.
http://sciav.fr/812amibe

LES PIERRES VOYAGEUSES DE LA DEATH VALLEY

Décryptage. Elles intriguent depuis des années touristes et scientifiques. Mais deux géologues semblent avoir compris le secret de leur mystérieux déplacement.
http://sciav.fr/812pierres

RETROUVEZ-NOUS SUR LES RÉSEAUX SOCIAUX

MATHIEU NOWAK

VIDÉO. E-CIGARETTE ET MOBILE
Pourquoi connecter son smartphone et sa cigarette électronique ? Pour compter ses bouffées et limiter la nicotine. Notre test.
http://sciav.fr/812test

O. LASCAR

BLOG DESSINS http://sciav.fr/olascar

F&A ARCHIVE / THE ART ARCHIVE / THE PICTURE DESK / AFP

IMAGE. PLONGÉE DANS LES PLÉIADES
Cet amas d'environ 300 étoiles nous offre un splendide spectacle sous l'œil des télescopes Hubble et Spitzer.
http://sciav.fr/812images

SPÉCIAL MONDIAL DE L'AUTO DE PARIS*

SCIENCES ET AVENIR

La course à la VOITURE CONNECTÉE

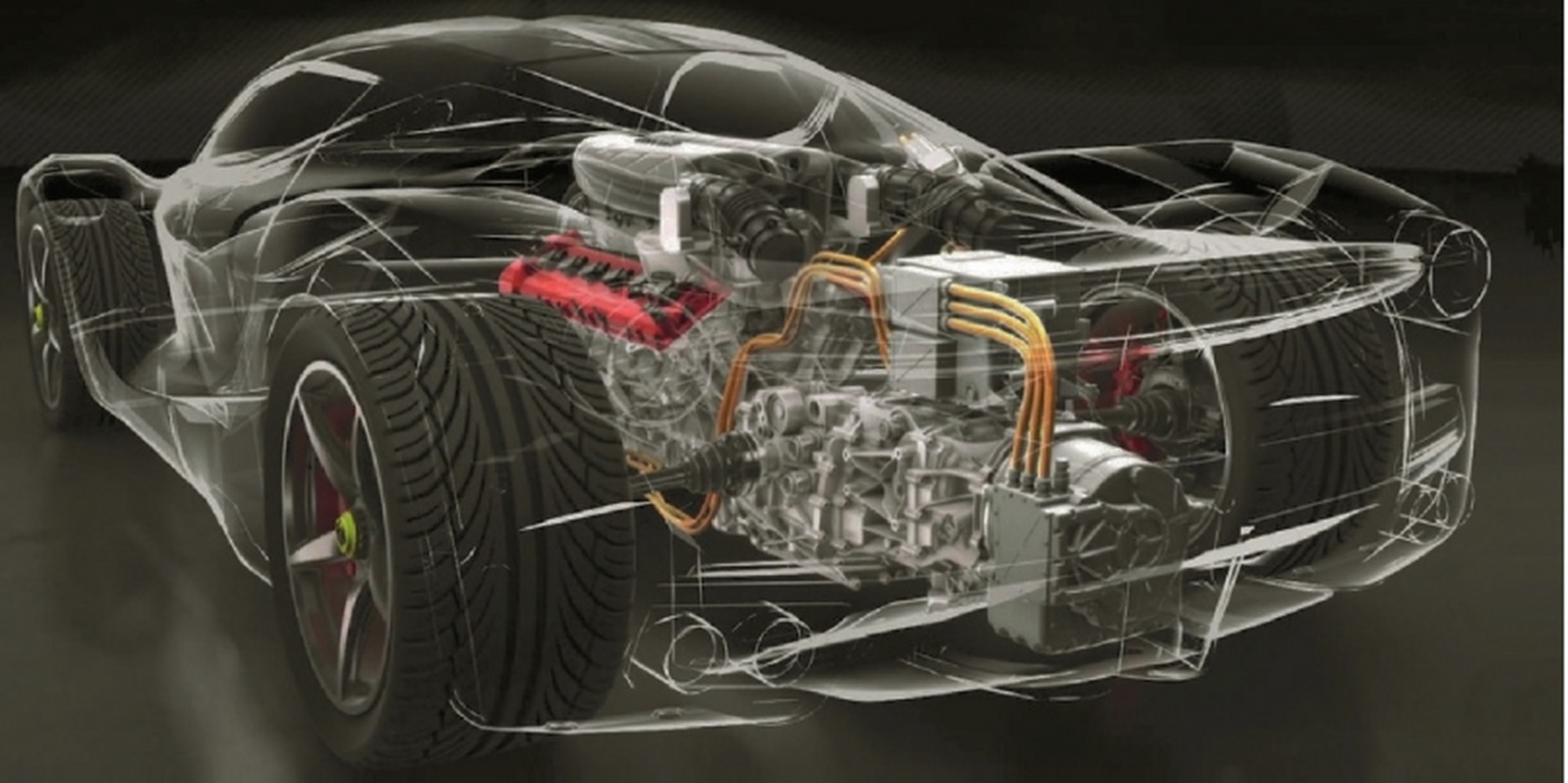
COMMUNICATION
La voiture devient un smartphone roulant. p. 108

SECURITE
Des conducteurs toujours plus assistés. p. 112

FUTUR
Le véhicule autonome fait ses preuves. p. 118

MOTORISATION
Une révolution sous les capots. p. 122

PERFORMANCES
La puissance passe par l'électrique. p. 128



FERRARI

+ Notre sélection de nouveautés

SUPPLÉMENT RÉALISÉ PAR
Olivier Hertel, Henri-Pierre Penel et Nicolas Valeano

* Du 4 au 19 octobre 2014

VÉHICULES CONNECTÉS

Quand la voiture devient un smartphone roulant

L'intégration dans l'habitacle des fonctionnalités de base d'un téléphone multimédia et le développement de services spécifiques deviennent un enjeu stratégique.

TÉLÉPHONIE, SMS, E-MAILS, SURF, réseaux sociaux, musique en streaming, guidage avec infos sur le trafic et alertes de zones dangereuses, services géolocalisés spécifiques... Les possibilités offertes par une connexion Internet mobile sont au moins aussi vastes en voiture qu'ailleurs. Mais les risques de déconcentration du conducteur augmentent au rythme de l'offre disponible, tandis que les passagers sont avides de contenus de divertissement. Comment prendre en compte une telle contrainte tout en proposant une offre répondant à cette forte demande ? Voilà tout l'enjeu pour les constructeurs et leurs nouveaux partenaires du monde des télécommunications.

Plusieurs niveaux d'intégration s'offrent aux automobilistes. Bien sûr, smartphone en poche et kit mains libres installé, n'importe quelle voiture se transforme en véhicule connecté mais sans que l'ergonomie ait été étudiée à cette fin : la taille d'écran du téléphone et ses commandes ne sont évidemment pas conçues pour une utilisation au volant. C'est pourquoi les constructeurs proposent désormais en série ou en option des systèmes embarqués avec grand écran, tactile ou non, et des fonctionnalités adaptées. Deux grandes voies sont explorées — dont l'une en cours de déploiement — proposant une intégration au véhicule des fonctionnalités des smartphones présents à bord, ou un système d'exploitation et une connexion indépendants. Dans le premier cas, les géants des télécoms se battent pour imposer leur solution, avec en particulier Apple Carplay et Google Android Auto. Pour éviter d'avoir ainsi à choisir son véhicule en fonction de la marque de son smartphone, certains constructeurs comme Mercedes ou Audi tentent une approche combinant plusieurs systèmes d'exploitation, voire avec une interface multi-plateforme (standard MirrorLink sur les nouvelles Peugeot 108 et Citroën C1, Bosch MySpin...). Il suffit dès lors de raccorder son smartphone au véhicule pour retrouver toutes ses fonctionnalités sur l'écran dédié intégré à la planche de bord.

L'intérêt pour les constructeurs automobiles d'intégrer une offre multimédia est de maîtriser les services proposés et de facturer des abonnements passant par leurs plates-formes. C'est notamment la voie suivie par les Français, adeptes d'une offre dite propriétaire : R-Link chez Renault, Connect Apps chez Peugeot et Multicity Connect chez Citroën. Le conducteur a ainsi à sa disposition une synthèse de ce que peut offrir un smart-

BMW

La BMW i3 électrique embarque le système ConnectedDrive, qui indique les bornes de recharge et l'itinéraire optimal.

CITROËN

Multicity Connect Citroën dote le Picasso d'un système multimédia avec clé 3G et écran tactile 7 pouces.

RUARIDH STEWART/ZUMA PRESS/CORBIS

Tesla Model S
Écran géant, commandes entièrement électroniques, interface connectée : Tesla se positionne en leader de la voiture high-tech.

phone avec ses applications, un GPS dynamique mais aussi un système de contrôle du véhicule, parfois entièrement numérisé : les commandes de chauffage sont ainsi incluses au système PSA, ce qui peut se révéler moins pratique à l'usage que de classiques boutons rotatifs.

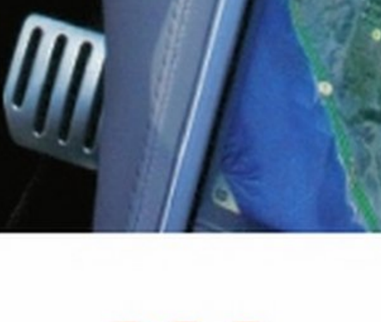
De nouveaux frais d'usage

Mais tout cela a un coût non négligeable : jusqu'à 600 € d'options de départ selon le modèle, plus un abonnement pouvant atteindre 350 € pour 3 ans, avec infos trafic, avertisseur de zones de danger, infos touristiques, météo, etc. Ces fonctions connectées et la géolocalisation revêtent une importance toute particulière pour les voitures électriques. Elles permettent en effet d'évaluer en temps réel l'autonomie et les possibilités de ravitaillement, voire de proposer des solutions de remplacement comme de laisser sa voiture au profit des transports en commun les jours de grands embouteillages (BMW i3). La recharge des batteries ou, de façon plus anecdotique, la température de l'habitacle peuvent aussi être commandées à distance par smartphone (Nissan Leaf, i3). L'américain Tesla a, quant à lui, fait sensation en poussant le concept d'écran multifonction de manière spectaculaire avec la dalle verticale de 17 pouces trônant sur la console centrale de son Model S. Elle intègre de nombreuses fonctions dont la navigation Google Maps et une connexion Web, mais elle se démarque surtout par son interface au design et à l'ergonomie remarquables... à près de 60 000 €, prix de base. Enfin, notons que toutes les voitures neuves embarqueront dès 2015 le système d'appel d'urgence en cas d'accident (eCall), rendu obligatoire. Un message sera automatiquement transmis aux services de secours, localisant le véhicule grâce à un GPS *(voir p. 113)*.

Certains constructeurs poussent la connectivité encore plus loin en installant le Wi-Fi à bord (BMW, Audi...) grâce à une connexion 4G. Si la réception est meilleure que celle d'un smartphone, elle reste tributaire du réseau. On en profitera surtout en ville ou sur les grands axes. Cela permet ainsi de disposer d'une borne 4G à laquelle les passagers peuvent se connecter, comme dans certains bus ou trains. Et de mettre à jour automatiquement le système et la cartographie, un plus non négligeable. Car il serait dommage d'avoir à changer de voiture comme de téléphone. ■

N. V.

200 millions
C'est le nombre de véhicules qui seront équipés d'Android Auto ou d'Apple Carplay d'ici à 2020, selon le cabinet IHS.


BOSCH

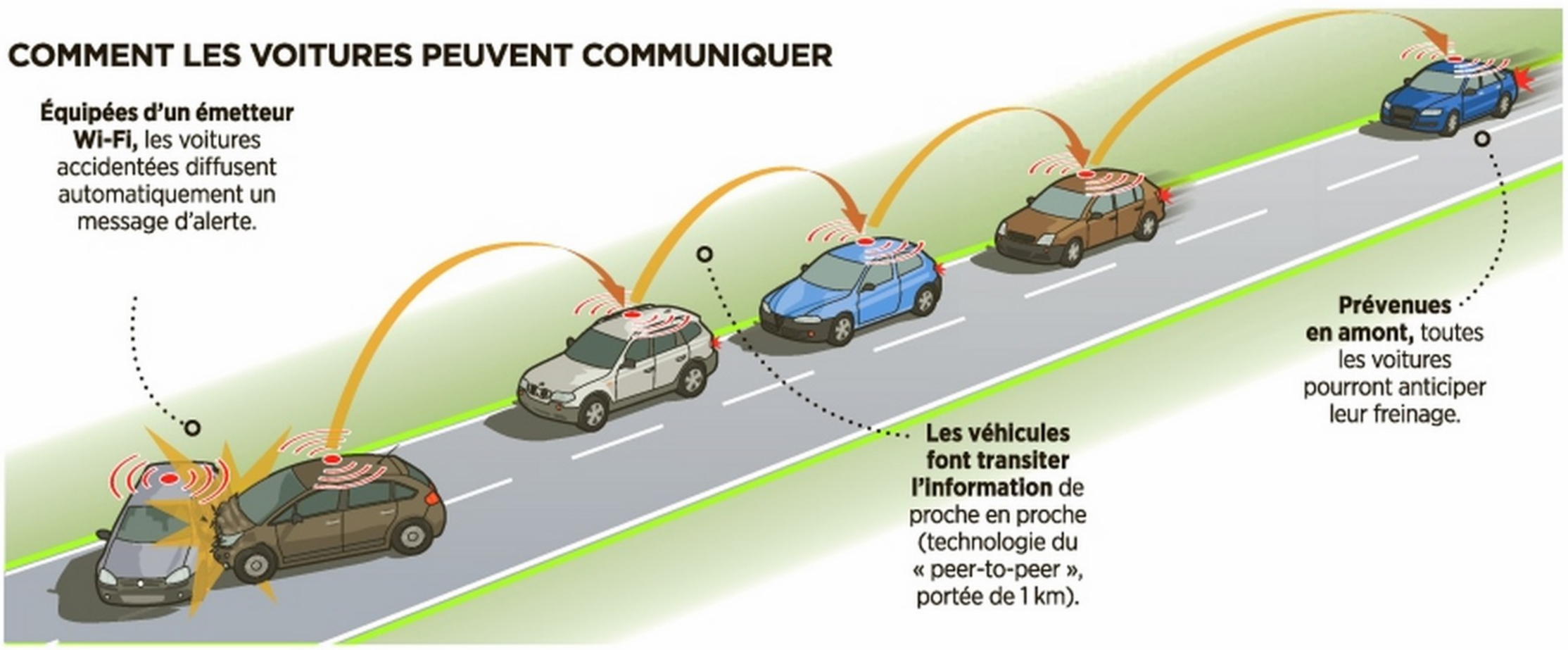
Bosch MySpin intègre à l'écran de bord les fonctionnalités de différents smartphones.

SÉCURITÉ

L'information utile en temps réel

Fournir au conducteur la bonne information au bon moment sans trop le solliciter, tel est le défi que doivent relever les constructeurs. Un compromis délicat.

COMMENT LES VOITURES PEUVENT COMMUNIQUER



Confort et sécurité seraient-ils incompatibles ? C'est la question que se posent de nombreux ergonomes, tout comme les spécialistes en sciences cognitives. En effet, le conducteur fait appel à une très large palette de sensations riches d'enseignements sur le comportement cinétique du véhicule et complémentaires des indications du tableau de bord : accélérations, vibrations, effort exercé sur le volant, etc. Cependant, plus une voiture est confortable et silencieuse, moins ces éléments sont perceptibles, privant le chauffeur de précieuses informations.

Ces écueils ont conduit les constructeurs à étudier de nouveaux équipements, aujourd'hui proposés en série ou en option, pour informer et alerter l'automobiliste privé de certains repères sensoriels. Ainsi, un voyant, parfois accompagné d'une alarme, signale une baisse de pression dans l'un des pneumatiques. De même, des dispositifs à ultrasons équipent certains habitacles devenus trop silencieux pour que l'on puisse se fier aux bruits extérieurs, comme celui d'un véhicule effectuant un dépassement. Ils détectent et signalent sa présence dans l'angle mort et peuvent déclencher une alerte si le conducteur entame un changement de file dangereux. D'autres systèmes, proposés notamment par Mercedes sur sa limousine de luxe, la Classe S, mettent en œuvre deux radars situés à l'avant de la voiture, l'un de moyenne portée (environ 200 mètres), l'autre de courte portée (une trentaine de mètres) pour avertir le conducteur s'il s'approche à une vitesse excessive de la voiture qui le précède.

9 %

des accidents sur autoroute sont dus à des pneus sous-gonflés. (Source : Sécurité routière.)

Remonter l'information pour anticiper l'action

Cependant, les constructeurs savent qu'ils ne doivent pas surinformer le conducteur au risque de noyer les informations utiles parmi d'autres, plus secondaires. Dans ce domaine, les ergonomes travaillent donc sur les niveaux de priorité à accorder et sur les façons de transmettre ces données au conducteur. La synthèse vocale, banalisée par les GPS, est un domaine en pleine expan-

BRUNO BOURGEOIS POUR SCIENCES ET AVENIR

sion. De même de nombreuses recherches sont menées sur les dispositifs de vision tête haute, capables d'afficher directement des informations sur le pare-brise. Mais il s'agit encore de dispositifs expérimentaux. Des vibreurs, logés sur des commandes telles que les pédales, ou un système à retour de force comparable à ceux qu'utilise l'aviation, notamment sur le volant, constituent aussi de bons vecteurs car l'« information » qu'ils délivrent est très intuitive. Pour le volant, par exemple, on ressent immédiatement dans quelle direction il faut agir.

Les véhicules communiquent entre eux

Enfin, le temps de transmission est déterminant. Il est en effet crucial que l'information parvienne au bon moment — ni trop tôt ni trop tard — pour éviter l'effet de surprise tout en permettant au conducteur de réagir. Dans ce domaine, sont à l'étude différents procédés qui s'articulent autour du concept de véhicule communicant. L'Inria, entre autres, participe au projet Score@f inscrit dans le programme européen Drive C2X. L'idée est de faire communiquer les véhicules directement entre eux, voire ponctuellement avec quelques éléments de l'infrastructure routière, feux rouges ou panneaux de signalisation par exemple, plutôt que de déployer un réseau d'émetteurs répartis sur l'ensemble du réseau routier. Chaque véhicule est donc doté d'un émetteur Wi-Fi spécifique, à la norme 802.p plus puissante et plus sûre que la norme de liaison en vigueur pour les ordinateurs, d'une portée d'environ 1 kilomètre. En cas de nécessité, l'information peut se propager de proche en proche sur une grande distance plus efficacement qu'avec un réseau conventionnel basé sur la centralisation des informations *(voir l'infographie ci-contre)*.

Dans le même esprit, les feux tricolores, également dotés d'un transmetteur Wi-Fi, pourraient indiquer leur état aux véhicules s'en approchant et, éventuellement, les freiner automatiquement. De plus, si un véhicule non équipé de cette technologie brûle un feu rouge, celui-ci le détectera et indiquera aux véhicules communicants proches qu'il y a danger afin qu'ils réduisent leur vitesse, voire s'arrêtent, même s'ils sont prioritaires.

Enfin, les ondes radio émises par leurs téléphones portables pourraient être mises à profit pour localiser les piétons, voire anticiper leurs déplacements et vérifier qu'ils ne risquent pas, par exemple, de traverser devant la voiture ou de descendre brusquement du trottoir. ■ **H.-P. P.**

PROTECTION

Un risque de piratage à prendre en compte

Les voitures sont de plus en plus connectées et au fur et à mesure qu'elles sont capables de conduire seules, le risque de *hacking* (piratage informatique) prend des proportions plus importantes. Aux États-Unis, des journalistes ont assisté à une démonstration en direct de hacking d'une Toyota Prius. À Pékin, lors d'une conférence de hackers, une récompense de 10 000 dollars était offerte à qui parviendrait à rentrer à distance dans le système d'une Tesla Model S. Résultat, une équipe de l'université du Zhejiang est parvenue à prendre contrôle de la fermeture des portes et des vitres, ainsi que du klaxon alors que le véhicule roulait. La firme américaine a réagi en soulignant qu'elle prendrait en compte toute faille qui pourrait apparaître pour développer des parades adéquates. Une question de sécurité avant tout, mais aussi d'image. N. V.

NOTRE SÉLECTION CONNECTÉE

Jaguar

XE
Cette berline sportive propose un nouveau système InControl à écran tactile et affichage tête haute laser, connexion Android et iOS, borne d'accès Wi-Fi...
À partir de 37 000 €

Mini

5 portes
La nouvelle version de la petite citadine offre de nombreuses fonctionnalités, comme des webradios, de la musique en streaming ou l'accès aux réseaux sociaux.
À partir de 21 100 €

Smart

Fortwo
L'application Smart Cross Connect permet de centrer le système télématique de l'auto sur un smartphone (Android ou Apple). L'écran tactile est en option.
À partir de 10 700 €

Nissan

Pulsar
Cette compacte familiale embarque le système NissanConnect et son écran tactile de 5,8 pouces, avec applications pour accéder aux réseaux sociaux, Google, Tripadvisor ou Eurosport. **N. V.**
À partir de 18 790 €

Faciliter la conduite de nuit. Sur certains modèles haut de gamme, une caméra à ultra-haute sensibilité, logée à l'avant du véhicule, affiche les images sur un écran près du tableau de bord. Le conducteur perçoit ainsi mieux les obstacles.

ÉLECTRONIQUE

Des conducteurs toujours plus assistés

Les véhicules actuels proposent des dispositifs d'assistance de plus en plus évolués. Mieux, la voiture peut prendre des décisions et se substituer au conducteur en cas d'urgence.

LES SYSTÈMES D'ASSISTANCE à la conduite sont entrés dans une nouvelle ère : ils fournissent au conducteur une aide appréciable pour des opérations souvent rébarbatives. L'assistance au créneau, qui équipe en option de plus en plus de véhicules en est un bon exemple. Lorsque cette fonction est engagée, des capteurs télémétriques à ultrasons fournissent au système informatique de commande de la manœuvre les informations de distance indispensables. Dès lors, celui-ci actionne le volant, grâce à un moteur électrique, et le rôle du conducteur se limite à superviser la manœuvre. Il doit juste jouer sur l'accélérateur et l'embrayage pour que l'opération se fasse en douceur, voire freiner en cas d'imprévu.

Exploitant des radars à moyenne

BMW

et courte portée, les dispositifs de gestion de vitesse et de respect des distances par rapport au véhicule qui précède la voiture peuvent intervenir pour améliorer la sécurité. Une fois enclenchés, ils adaptent automatiquement la vitesse à celle de la circulation. Un fonctionnement qui rappelle un peu celui des limiteurs de vitesse, sauf qu'ici c'est la vitesse des véhicules environnants qui est prise en compte : la voiture adapte ainsi automatiquement son allure au flux de la circulation. Le véhicule pourra aussi bien accélérer, si la circulation se fluidifie par exemple, que ralentir dans le cas inverse.

Entretenir la vigilance et parer l'endormissement

Cependant, une fois ces différents dispositifs d'assistance enclenchés, dans des conditions de circulation fluide, le rôle du conducteur se limite à guider la voiture dans sa voie de roulement. Il est donc relativement peu sollicité, ce qui peut entraîner une baisse d'attention sur la conduite, voire une perte complète de vigilance. Pour compenser ce risque, de nouveaux dispositifs voient le jour. On parle, entre autres, d'un système de vérification du bon suivi de la voie de roulement. Une caméra repère le marquage de la route et vérifie que le conducteur le suit scrupuleusement *(voir l'infographie ci-contre)*. En cas d'écart, celui-ci est averti afin qu'il se ressaisisse.

Poussant encore plus loin, certains véhicules sont même équipés d'un détecteur d'endormissement. Celui-ci combine des informations issues de plusieurs sources. Le système de suivi de voie de roulement, qui détecte les éventuels louvoiements de la voiture, en fait partie. Ces données sont combinées avec celles provenant du capteur d'orientation du volant. Tout mouvement brusque pour ramener la voiture sur une trajectoire « normale » est révélateur d'un effet de surprise consécutif à une reprise de conscience qui alerte le système. Enfin, une caméra spécifique, logée au niveau du pare-soleil et visant le visage du conducteur, analyse les mouvements de ses yeux. Un regard « dans le vague » ou pis des yeux qui clignent traduisent un début d'endormissement. Le système déclenche aussitôt une alarme. Mais la fiabilité n'est pas encore totale : les déclenchements intempestifs restent fréquents, ce qui amène de nombreux conducteurs à déconnecter le dispositif.

Cependant, même assisté, le conducteur d'une voiture peut avoir une réaction « réflexe » en cas de surprise. Ce qui n'est pas toujours le meilleur moyen de se sortir d'une situation délicate. C'est pourquoi, au-delà de l'assistance, les systèmes actuels sont aussi capables de prendre des décisions et d'agir ponctuellement sur le comportement de la voiture, voire de prendre la main sans même que le conducteur en ait conscience.

Une prise en main ponctuelle des commandes

Certains dispositifs ont prouvé leur efficacité. C'est le cas de l'assistance au freinage d'urgence, encore appelé AFU, qui complète le système ABS des voitures actuelles. En évitant le blocage des roues, l'ABS préserve la trajectoire de la voiture. L'AFU augmente ▶

URGENCE

eCall : un système d'alarme en temps réel

Dès le mois d'octobre 2015, toutes les nouvelles voitures vendues en Europe devraient être équipées du système eCall. Son rôle sera d'alerter les secours afin que leur intervention soit aussi rapide que possible. Également connu sous l'appellation eTouch, chez Citroën, ou Connect, chez Peugeot, ce dispositif fait appel conjointement au GPS et au réseau de téléphonie mobile et il est activé par le déclenchement des airbags. Intégré au véhicule et totalement indépendant des téléphones mobiles des occupants, il compose alors automatiquement un numéro d'appel d'urgence qu'il possède en mémoire. Les coordonnées du lieu de l'accident sont transmises à un centre de secours proche et une conversation peut même s'établir par l'intermédiaire des haut-parleurs de l'autoradio. Le système peut aussi être déclenché manuellement, par l'intermédiaire d'un poussoir de détresse, en cas de malaise du conducteur ou de toute autre urgence médicale, même en l'absence de choc. Précisons que la Commission du marché intérieur du Parlement européen vient de valider ce système et estime qu'il pourrait sauver jusqu'à 2500 vies par an au sein de l'Union européenne grâce à la réduction des temps d'intervention des secours.

2 500

vies pourraient être épargnées chaque année dans l'Union européenne grâce au système eCall d'appel automatique de secours.
Source : Commission du marché intérieur du Parlement européen.

LE CONTRÔLE DU SUIVI DE TRAJECTOIRE

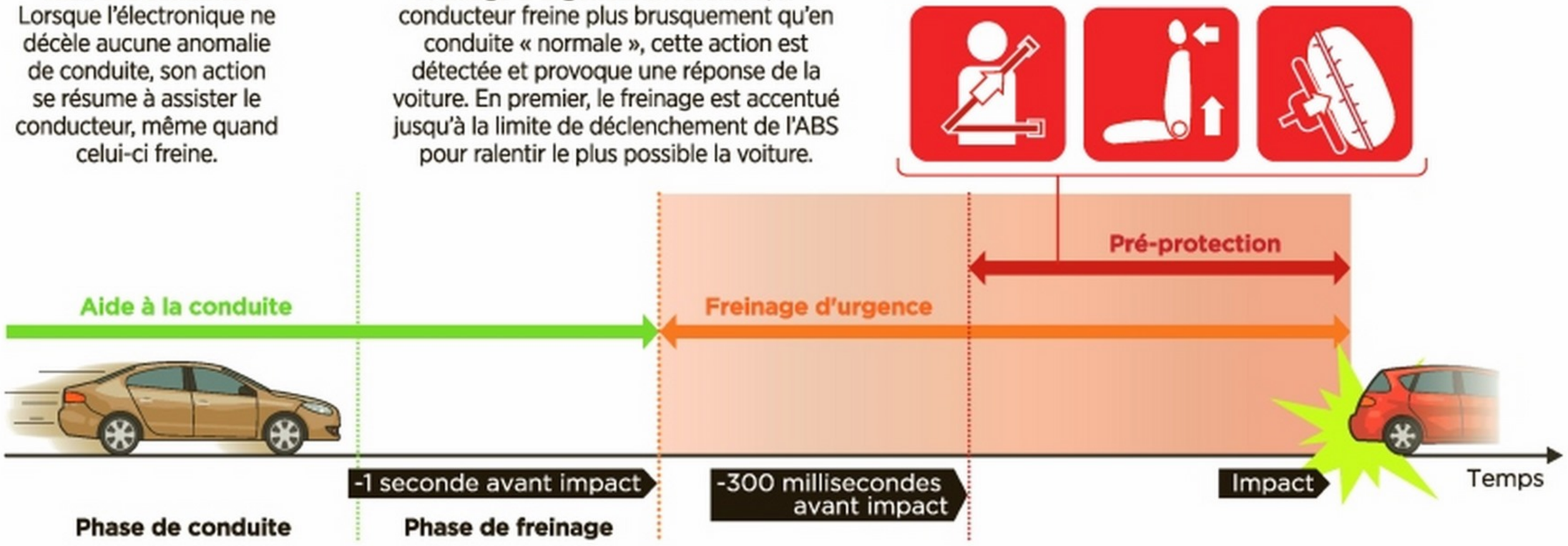
INFOGRAPHIES : BRUNO BOURGEOIS POUR SCIENCES ET AVENIR

Les quelques millisecondes qui peuvent sauver la vie

Aide à la conduite. Lorsque l'électronique ne décèle aucune anomalie de conduite, son action se résume à assister le conducteur, même quand celui-ci freine.

Freinage d'urgence. En revanche, si le conducteur freine plus brusquement qu'en conduite « normale », cette action est détectée et provoque une réponse de la voiture. En premier, le freinage est accentué jusqu'à la limite de déclenchement de l'ABS pour ralentir le plus possible la voiture.

Pré-protection. Si l'électronique juge le choc inévitable, elle enclenche une pré-tension des ceintures de sécurité et remonte l'assise du siège pour éviter le « sous-marinage » (glissement sous la ceinture). Les airbags sont activés juste avant le choc.



encore son efficacité en renforçant le freinage dans les cas où le conducteur est surpris. Un capteur logé au niveau de l'articulation de la pédale de frein détecte sa vitesse d'enfoncement. Cette information est transmise au calculateur du système. Si celui-ci détecte une vitesse d'enfoncement anormalement rapide, il en déduit que le conducteur est surpris par un obstacle soudain. Le système de gestion du freinage considère que la voiture est en situation de risque. Au lieu de commander un freinage progressif, il ordonne un freinage maximal, aux limites de déclenchement de l'ABS. Le freinage redevient progressif dès que le conducteur diminue sa pression sur la pédale, le calculateur estimant alors la situation maîtrisée.

La prise de commandes peut aussi être totale

L'équipementier américain TRW Automotive propose d'aller encore plus loin avec l'« Emergency Steering Assist », un système d'évitement d'urgence. Couplé à un radar et à une caméra logés à l'avant de la voiture, le dispositif détecte automatiquement la présence d'un véhicule à l'arrêt sur la même voie. Une situation qui correspond typiquement à l'arrivée sur un bouchon. Si le conducteur ne freine pas suffisamment, le système est capable non seulement d'accentuer le freinage mais aussi d'éviter le véhicule obstruant la route en agissant sur le volant. Il modifie ainsi la trajectoire de la voiture, soit vers la gauche, soit vers la droite en fonction de l'espace disponible, tout en maintenant un freinage maximal. Sur d'autres systèmes, comme le City Safty que propose Volvo, les mêmes sources d'informations sont exploitées pour déclencher un freinage d'urgence en cas d'arrivée latérale d'une voiture, voire d'un cycliste ou d'un piéton.

Agir même quand le « crash » est inévitable

L'électronique est également capable de déceler une perte de contrôle de la voiture. Pour cela, elle détecte les incohérences entre les informations provenant du capteur d'orientation du volant, celles issues des tachymètres

SÉCURITÉ DES PIÉTONS

Carrosserie souple, airbags et caméras

La structure des véhicules et leurs lignes ont évolué pour minimiser les effets d'un choc sur un piéton. Dans une première phase, la géométrie et la résistance de l'avant des voitures ont été modifiées. Maintenant, le pare-chocs est placé le plus bas possible afin que le choc se produise plutôt en bas des jambes qu'au niveau des hanches. Le capot est constitué d'éléments peu rigides à base de tôles minces qui atténuent la violence de l'impact en se déformant. Certains constructeurs, comme , avec sa V40, ont même prévu de doter leurs derniers modèles d'un airbag piéton logé en haut du capot afin d'éviter un choc direct avec le pare-brise. Certains véhicules, comme la Mercedes Classe S, disposent déjà d'un système de vision nocturne basé sur une caméra infrarouge signalant au conducteur tout obstacle sur la route. Volvo, pour sa part, propose d'équiper ses véhicules haut de gamme de caméras latérales capables de détecter les piétons ou les cyclistes, même de nuit, et de commander automatiquement un freinage d'urgence.

RENAULT ZOE, À PARTIR DE 169 €/ MOIS[1] TOUT COMPRIS[2]

ROULER ÉLECTRIQUE, IL N'Y A RIEN DE PLUS SIMPLE

POUR PLUS D'INFORMATIONS, APPELEZ LE 3023

APPEL GRATUIT

- **LOCATION LONGUE DURÉE SUR 37 MOIS | 1ER LOYER DE 3 196 € | BONUS ÉCOLOGIQUE DE 6 300 € DÉDUIT**
- LOCATION DE LA BATTERIE ET ASSISTANCE 24/7
- INSTALLATION D'UNE PRISE DÉDIÉE À DOMICILE
- CÂBLES DE RECHARGE POUR PRISES DOMESTIQUES ET BORNES PUBLIQUES

RENAULT

MODÈLE PRÉSENTÉ : ZOE ZEN AVEC OPTIONS À 232 €/MOIS AVEC UN 1er LOYER DE 3 196 €.
(1) Exemple pour ZOE Life, en Location Longue Durée sur 37 mois/15 000 km incluant un premier loyer de 3 196 € (6 300 € de bonus écologique déduits), 36 loyers de 120 € par mois sous réserve d'acceptation par Diac SA – SIREN 702 002 221 RCS Bobigny. À cela s'ajoutent 37 loyers de 49 € par mois pour la location de batterie Diac Location - SIREN 329 892 368 RCS Bobigny. Restitution du véhicule en fin de contrat avec paiement des frais de remise à l'état standard et des kilomètres supplémentaires. Offre réservée aux particuliers, valable jusqu'au 2 novembre 2014 dans le réseau Renault participant. (2) Offre incluant la location de la batterie, la prise Green Up™ Access de Legrand et son installation par Proxiserve sur la base d'un montant maximum de 513 € TTC.

logés dans les roues qu'exploite l'ABS pour déterminer leur vitesse de rotation et celles d'accéléromètres logés au sein du calculateur lui-même. En effet, rotation des roues, tangage, roulis et orientation du volant sont liés et sont fonction de la trajectoire suivie par la voiture : courbe, virage serré, ligne droite, etc.

Une stratégie de mise en sécurité

Dans une première phase, le système tente d'agir sur les fonctions dont il dispose, notamment l'ABS et l'ESP (système de correction de trajectoire), pour tenter de rendre à ces paramètres leur cohérence et, en conséquence, de ramener le véhicule sur une trajectoire « normale ». Cependant, si l'écart entre les paramètres est trop élevé ou si la tentative de correction de trajectoire échoue, le système considère que l'accident est inévitable. L'électronique change alors de stratégie. Après avoir opté pour une stratégie d'assistance, puis de correction, elle enclenche la mise en sécurité des occupants de la voiture *(voir l'infographie p. 114)*. Mais la perte de contrôle du véhicule n'est pas le seul cas où cette procédure intervient. Elle peut être activée si le radar frontal de la voiture détecte l'approche d'un autre véhicule ou d'un obstacle à vitesse excessive.

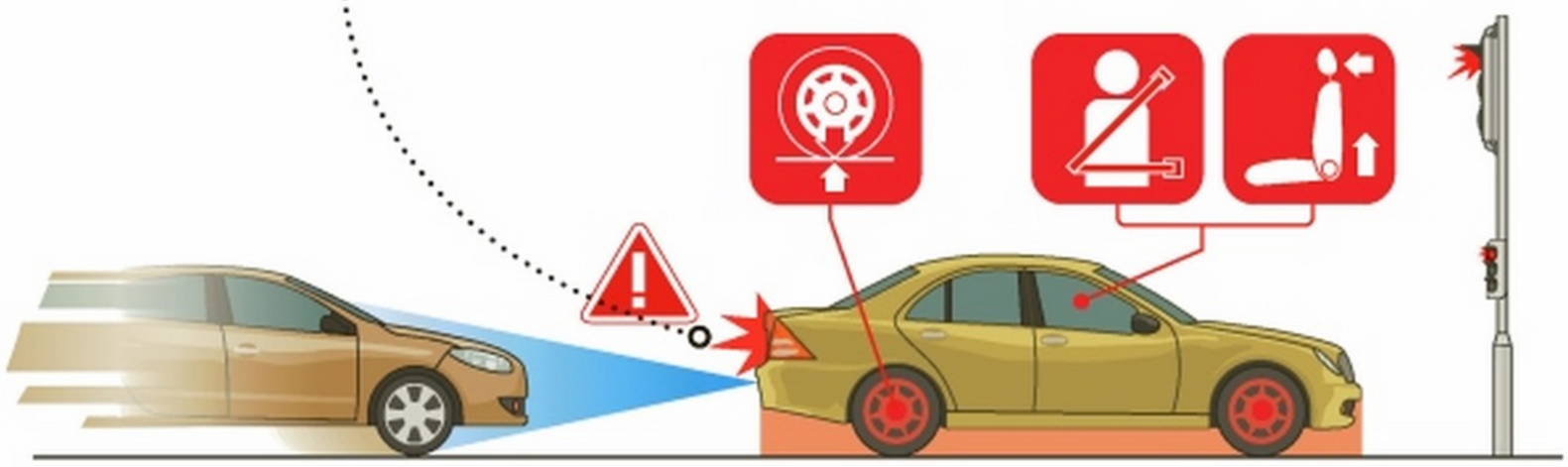
Sur les modèles les plus récents, notamment chez Mercedes-Benz, l'imminence d'un choc arrière, détectée par le radar arrière *(voir l'infographie ci-dessus)*, peut aussi provoquer la mise en sécurité de l'habitacle. ■ **H.-P. P.**

RÉDUIRE LES EFFETS D'UN CHOC ARRIÈRE

Le radar arrière de la voiture détecte l'arrivée d'un autre véhicule à une vitesse excessive.

Les freins des quatre roues sont serrés pour s'opposer au bond en avant de la voiture.

Les prétenseurs de ceinture sont activés, le siège est redressé et l'appuie-tête avancé afin d'éviter un traumatisme au niveau des vertèbres cervicales.



ÉLECTRONIQUE

Des capteurs venus du monde des smartphones

S'il est possible d'utiliser des capteurs extrêmement coûteux sur un véhicule expérimental, ce n'est pas le cas pour une voiture destinée au public. Les constructeurs se sont donc orientés vers des capteurs bon marché, car produits en énorme quantité. Ils s'intéressent notamment aux petites caméras qui équipent les smartphones. Regroupées par couple, elles permettent de réaliser une prise de vue stéréoscopique et ainsi d'analyser l'environnement du véhicule en trois dimensions. En les associant à des logiciels spécifiques, les constructeurs espèrent en retirer des informations presque aussi riches que celle issues du Lidar de la Google Car, qui elle est dotée d'un jeu de faisceaux laser tournants. Un système complexe, certes très précis, mais extrêmement onéreux.

NOTRE SÉLECTION SÉCURITÉ

Volkswagen

Passat
Elle détecte un malaise du conducteur en cas d'inactivité sur les commandes. L'ordinateur de bord prend le contrôle du véhicule jusqu'à l'amener à l'arrêt et appeler les secours. Elle inclut des phares 100 % LED.
À partir de 25 350 €

Volvo

XC 90
Priorité à la sécurité avec des équipements exclusifs pour ce nouveau grand SUV : freinage automatique aux intersections si un véhicule vient en face, protection active des passagers en cas de sortie de route.
À partir de 49 900 €

Land Rover

Discovery Sport
Des caméras stéréo pour anticiper au mieux un risque de collision (jusqu'à 50 km/h).
À la base du pare-brise, un airbag piéton peut amortir un choc entre 24 et 48 km/h.
À partir de 34 600 €

Ford

Mondeo
En première mondiale, des ceintures arrière avec airbags intégrés, permettant une répartition 5 fois plus élevée de l'impact sur le corps du passager.
À bord aussi, une correction active de la direction. **N. V.**
À partir de 30 500 €

iD VROOM

Le covoiturage au quotidien

En route !

Enchantée

Hello !

Pile à l'heure !

Économie, sérénité, geste pour l'environnement…
Divisez le poids de vos trajets quotidiens
en covoiturant avec **iDVROOM.com** !

123envoiture et Easycovoiturage s'allient pour créer iDVROOM,
le meilleur service pour vos covoiturages réguliers.

- Une appli mobile
- Un réseau de covoitureurs favoris
- Des outils pour organiser votre équipage
- Des prix stables, même en dernière minute !

NOUVEAU !

Déjà 900 000 inscrits

iD VROOM

ORIGNAL COMMUNICATION photo : © andresread - iStock

ROBOTISATION

La voiture autonome fait ses preuves

Des expérimentations grandeur nature ont validé ce concept étonnant : dès 2020, des phases entières de conduite seront prises en charge par des véhicules automatisés.

SIGNE DES TEMPS, les constructeurs automobiles étaient aux premières loges du dernier salon CES de Las Vegas (États-Unis), l'un des rendez-vous majeurs pour les nouveautés en électronique grand public. BMW y montrait des dérapages « sans les mains » tandis qu'Audi se jouait du trafic du Nevada, laissant le conducteur vaquer à d'autres occupations. L'enjeu : l'avènement de la voiture autonome, capable de se conduire toute seule, du moins dans certaines circonstances.
Une évolution souhaitable à plus d'un titre, à commencer par la sécurité, sachant que plus de 80 % des accidents sont dus à des fautes humaines. Le véhicule, lui, grâce à ses capteurs, caméras, radars, systèmes connectés et calculateurs, assure une veille permanente et totale. Mieux, il est capable de se tenir informé des aléas de la route et sait anticiper en conséquence. De quoi réduire de moitié, à terme, les quelque 1,2 million de décès annuels sur la route dans le monde, selon l'OMS.
Autres avantages, la conduite optimisée du véhicule et sa gestion des parcours permettent de grosses économies d'énergie ; le véhicule peut se débrouiller seul dans un parking ; enfin, une voiture complètement autonome pourrait faire le bonheur de publics jusqu'ici exclus : aveugles, malades, enfants...
La première étape d'automatisation est annoncée pour 2020, avec des phases de conduite entièrement prises en charge, le conducteur devant pouvoir reprendre la main en quelques secondes. Conduite sur autoroute, dans les bouchons ou dans un parking : ce sont les phases les plus ennuyeuses, stressantes et sources d'accrochages qui seront automatisées. Pour les petites routes, le plaisir de conduire sera laissé à l'automobiliste.

54 millions
Le nombre de voitures partiellement ou complètement autonomes en circulation dans le monde à l'horizon 2035, selon le cabinet américain IHS Automotive/Polk.

Google va mener un programme pilote

Dans un deuxième temps – pas avant 2030-2035 – la voiture pourra entièrement assumer un trajet. C'est ce que préfigure la Google self-driving car, présentée au printemps. Bien qu'elle semble sortie d'un dessin animé, il s'agit d'une voiture entièrement autonome : impossible de la conduire, elle n'a ni volant ni pédales ! La fabrication d'une centaine de prototypes (avec commandes et volant dans un premier temps) a été annoncée par le géant du Web, qui souhaite mener un programme pilote en Californie. ▶

COURTESY BJÖRN FILZEK

AVIS D'EXPERT

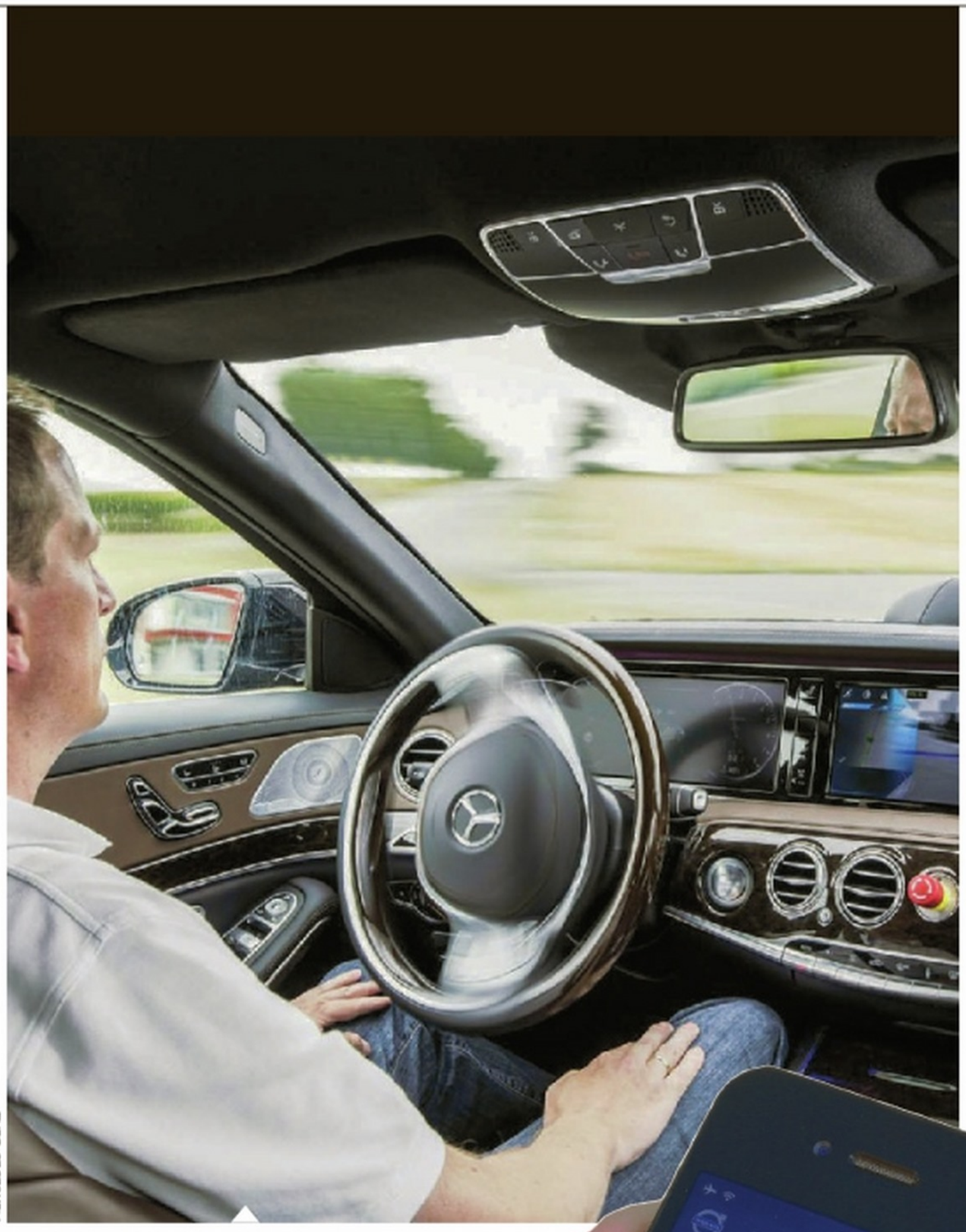
BJÖRN FILZEK, RESPONSABLE CONDUITE AUTONOME, CONTINENTAL

La sécurité et les interfaces sont au cœur des recherches

« L'accès à la conduite autonome se fera sur une dizaine d'années. Pour passer d'un niveau d'automatisation limité, puis élevé et enfin total (sur certains tronçons), un très gros travail de recherche est nécessaire sur les capteurs, la modélisation de l'environnement, les processus de validation, la sécurité et les interfaces avec le conducteur. Parmi les défis technologiques à relever pour atteindre une fonctionnalité parfaite, on peut citer la redondance des systèmes (actuateurs*, bus de communication, énergie, capteurs de l'environnement de la voiture). D'autre part, les véhicules devront analyser des situations complexes à haute vitesse et avertir suffisamment tôt le conducteur qu'il doit reprendre le contrôle. Pour cela, les systèmes devront recevoir en temps réel des informations sur la route tandis que le positionnement du véhicule sera intégré dans une base de données centralisée externe. Nous étudions toutes ces questions, avec BMW par exemple, dans le cadre de notre collaboration sur la conduite hautement automatisée. »

Propos recueillis par N. V.

* Système permettant de réguler le débit de carburant distribué.



MERCEDES-BENZ

La Mercedes Intelligent Drive a été testée avec succès sur route et autoroute en Allemagne.

SIPA

Le nouveau prototype Google self-driving car n'a ni volant ni pédales.

RENAULT

Le prototype Renault ZOE Next 2 suit le trafic et se gare sans intervention humaine.

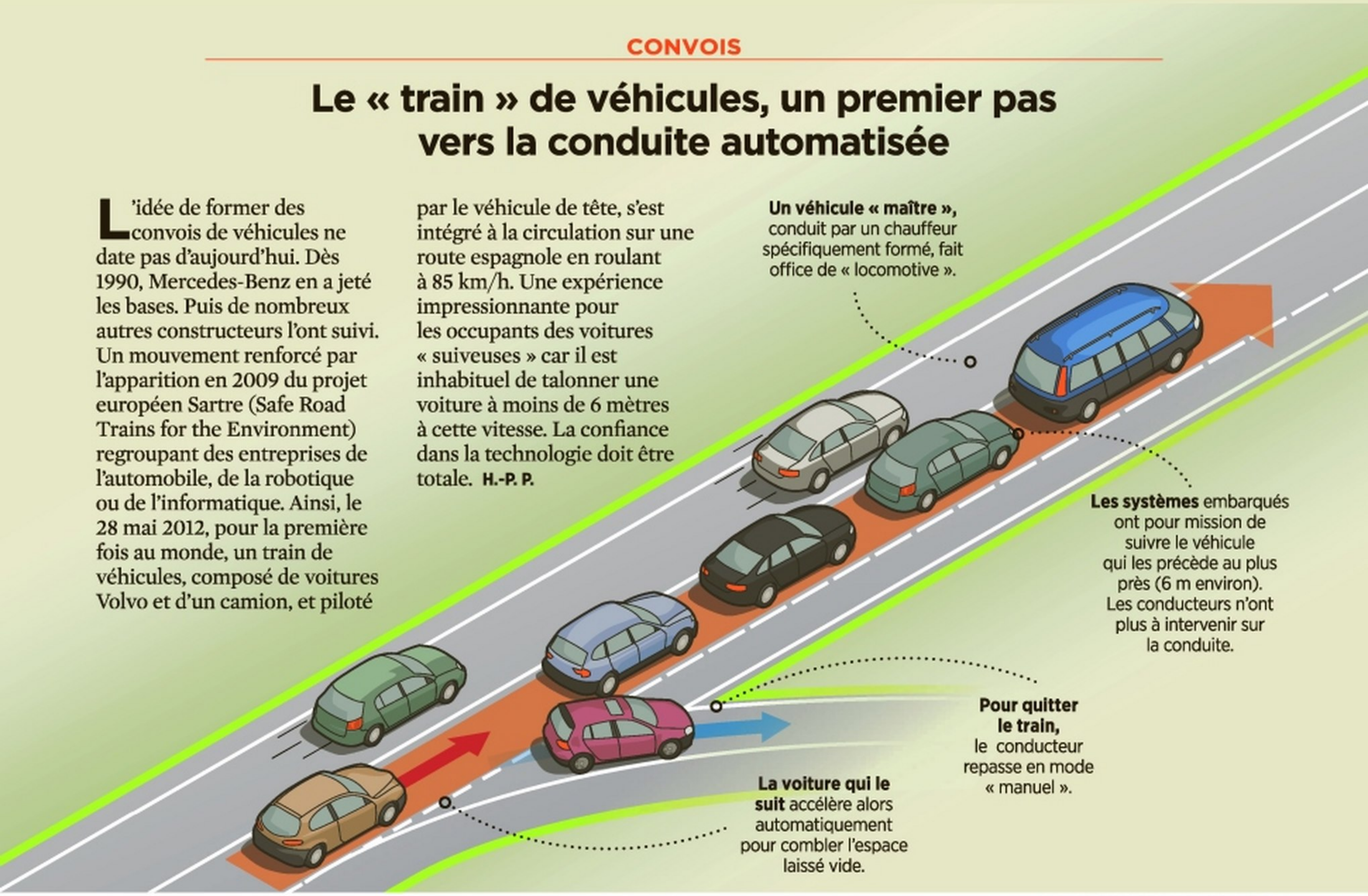
VOLVO

Le système Drive Me de Volvo permet d'envoyer sa voiture se garer toute seule à partir d'un smartphone.

CONVOIS

Le « train » de véhicules, un premier pas vers la conduite automatisée

L'idée de former des convois de véhicules ne date pas d'aujourd'hui. Dès 1990, Mercedes-Benz en a jeté les bases. Puis de nombreux autres constructeurs l'ont suivi. Un mouvement renforcé par l'apparition en 2009 du projet européen Sartre (Safe Road Trains for the Environment) regroupant des entreprises de l'automobile, de la robotique ou de l'informatique. Ainsi, le 28 mai 2012, pour la première fois au monde, un train de véhicules, composé de voitures Volvo et d'un camion, et piloté par le véhicule de tête, s'est intégré à la circulation sur une route espagnole en roulant à 85 km/h. Une expérience impressionnante pour les occupants des voitures « suiveuses » car il est inhabituel de talonner une voiture à moins de 6 mètres à cette vitesse. La confiance dans la technologie doit être totale. **H.-P. P.**



BRUNO BOURGEOIS POUR SCIENCES ET AVENIR

D'ailleurs, selon une étude de KPMG, les Américains seraient plus enclins à faire confiance à Google qu'à un constructeur classique pour concevoir des voitures autonomes. Il semble du reste que le concurrent chinois de Google, Baidu, ait des projets comparables, alors que 79 % des automobilistes en Chine se disent prêts à laisser le volant, selon une étude de l'équipementier Continental.

Mercedes et Renault se lancent dans la course

Si les Allemands sont moins enthousiastes (53 %), c'est Mercedes-Benz, toujours à la pointe des nouvelles technologies, qui pourrait bien être le premier à intégrer un tel système. Des tests réalisés avec sa Classe S Intelligent Drive ont été probants. En France, Renault a présenté cette année la Next 2, une ZOE électrique capable de suivre le trafic et de se garer sans intervention humaine. Des tests en conditions réelles, dans le trafic, devraient être menés dès l'an prochain, d'autant que le véhicule autonome est inscrit dans le plan La nouvelle France industrielle dont Carlos Ghosn, président de Renault et de Nissan, est l'un des pilotes.

79 % des conducteurs chinois et 53 % des allemands se disent prêts à se passer du volant.

Mais les obstacles à la circulation de véhicules autonomes sont encore nombreux. Quelle sera l'influence sur le trafic ? Y aura-t-il moins de véhicules sur la route (s'ils sont plus faciles à partager) ? Est-ce la fin du métier de chauffeur ? Quelle influence sur l'étendue des villes ? Autant de querelles d'experts en prospective. De manière plus concrète, se pose le problème épineux des assurances. Comment déterminer les responsabilités en cas d'accident ? En Allemagne, on évoque l'idée de « boîtes noires » à bord des véhicules automatisés. Les experts et avocats qui risquent d'y gagner une source d'activité supplémentaire resteront, eux, bien humains. ■ **N. V.**

Une deuxième salle d'eau **où vous voulez !**

SANIBROYEUR® de SFA, et c'est facile !

Sanibroyeur® SFA permet d'installer des équipements sanitaires
(WC, douche, lavabo, bidet) où vous le souhaitez.
Une prise électrique, une alimentation en eau et une simple évacuation suffisent !

- Pas besoin de grosse canalisation d'évacuation
- Jusqu'à 5 m de hauteur de relevage
- Installation rapide, y compris en remplacement
- Gamme la plus silencieuse du marché

SFA

8, rue d'Aboukir - 75002 Paris
Tél. 01 44 82 39 10 - Fax 01 44 82 39 01
www.sfa.fr

MOTORISATION

Une révolution sous les capots

Pour gagner en sobriété et s'adapter aux normes européennes d'émissions polluantes, les constructeurs développent des moteurs hybrides toujours plus innovants.

Heure de pointe à Paris. Nous voici bloqués dans la file aux abords d'un carrefour. Pas d'énervement, nous profitons de ces quelques secondes de ralentissement forcé pour recharger automatiquement la bonbonne d'azote intégrée sous le plancher de notre prototype. Puis, d'une légère pression sur l'accélérateur, redémarrons sans le moindre bruit, tractés par notre moteur hydraulique. Bilan de la manœuvre : pas une goutte d'essence consommée, pas le moindre gramme de CO_2 rejeté. Car nous sommes au volant d'une Peugeot 2008 Hybrid Air, un prototype développé par PSA avec l'équipementier Bosch.

Le nouveau type de motorisation équipant ce véhicule illustre parfaitement la révolution à l'œuvre dans le monde de l'automobile. « *Pressés par les réglementations européennes sur la réduction des émissions de CO_2, et donc des consommations, les constructeurs cherchent tous azimuts de nouvelles solutions pour développer des moteurs plus sobres. D'où un foisonnement de concepts* », explique Guillaume Devauchelle, directeur de l'innovation chez Valeo.

Les efforts à faire seront effectivement très soutenus : « *En 2007, les émissions moyennes en France étaient de 150 g de CO_2 par kilomètre. En 2015, chaque constructeur devra passer à une moyenne de 130 g/km. En 2020, ce sera 95 grammes. Et l'Europe évoque déjà les 70 à 75 grammes pour 2025* », précise Laurent Gagnepain, ingénieur expert à l'Ademe.

CITROEN COMMUNICATION/GREG

Citroën DS5. L'hybride diesel du constructeur français économise jusqu'à 30 % de carburant en ville, selon l'Ademe.

OPEL

Opel Ampera, une tout-électrique avec prolongateur thermique portant son autonomie à près de 500 km.

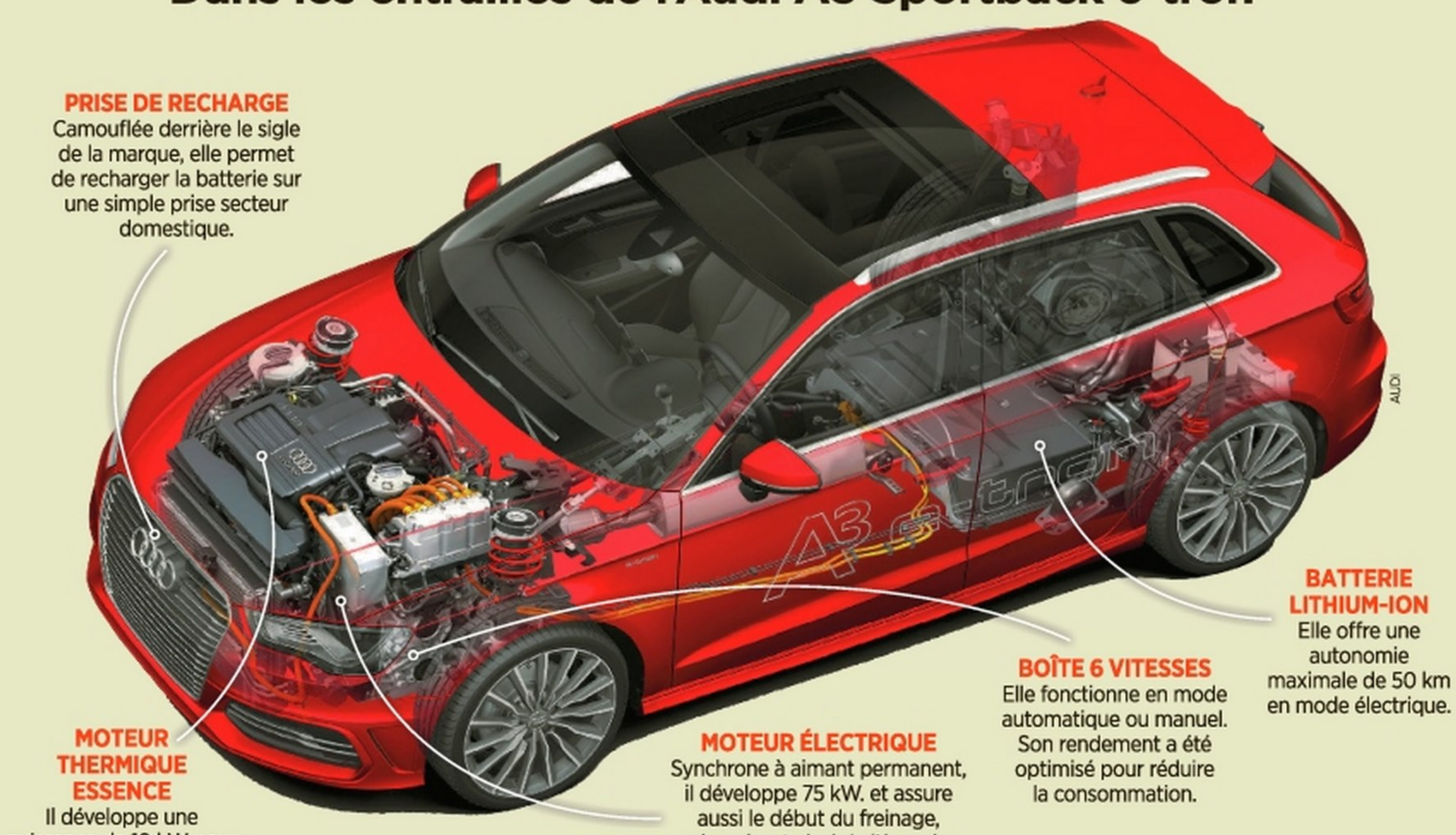
L'hybridation, une solution pour le milieu de gamme

Pour coller à ce cahier des charges, plusieurs pistes sont suivies. D'un côté, on continue de grignoter sur les consommations en réduisant les frottements ou en diminuant le volume des cylindres voire leur nombre sans perdre en performance (« *downsizing* »). Des moteurs affichant un petit 1,4 litre de cylindrée sont ainsi suralimentés par un turbo qui augmente leur puissance en compressant l'air à l'admission. « *L'optimisation des moteurs thermiques devrait permettre d'atteindre, à terme, les 75 g/km de CO_2 pour les diesels et 90 g/km pour les petits modèles urbains à essence. Mais cela ne suffira pas à atteindre les objectifs de 2020 pour les véhicules plus gros* », explique Christian Mecker, vice-président de Bosch France.

C'est pourquoi les constructeurs s'orientent presque tous vers l'hybridation. Mais un problème se pose : adjoindre un moteur électrique et une batterie augmente le coût du véhicule d'au moins 4000 €. Il faut donc adapter le niveau d'hybridation au prix de base du véhicule. Ainsi, l'Hybrid Air de PSA n'utilise pas de

MOTEUR HYBRIDE RECHARGEABLE

Dans les entrailles de l'Audi A3 Sportback e-tron



PRISE DE RECHARGE
Camouflée derrière le sigle de la marque, elle permet de recharger la batterie sur une simple prise secteur domestique.

MOTEUR THERMIQUE ESSENCE
Il développe une puissance de 10 kW pour 1.4 litre de cylindrée.

MOTEUR ÉLECTRIQUE
Synchrone à aimant permanent, il développe 75 kW. et assure aussi le début du freinage, récupérant ainsi de l'énergie pour recharger les batteries.

BOÎTE 6 VITESSES
Elle fonctionne en mode automatique ou manuel. Son rendement a été optimisé pour réduire la consommation.

BATTERIE LITHIUM-ION
Elle offre une autonomie maximale de 50 km en mode électrique.

moteur électrique et donc pas de coûteuses batteries, ce qui permettrait de diviser par deux le coût de l'hybridation. La technologie repose sur le couplage d'un moteur thermique et d'un moteur hydraulique. Ce dernier est mû par de l'huile poussée par de l'azote sous pression. « *Le système économise jusqu'à 45 % de carburant en ville, soit une consommation moyenne d'environ 3 litres aux 100 km* », assure Éric Lalliard, ingénieur travaillant sur le projet. Il serait pertinent pour le segment C (Renault Mégane, Citroën C4, Volkswagen Golf...) où les prix varient entre 15 000 et 20 000 €.

Des équipementiers, tels Valeo et Bosch, ont aussi en réserve une sorte de micro-hybridation dérivée du stop-start (coupure du moteur à l'arrêt). Elle permettrait de gagner en moyenne 15 % de carburant. L'astuce consiste à remplacer la batterie de 14 V et l'alternateur — qui habituellement fournissent de l'électricité au moteur et à la batterie— par une batterie de 48 V et un générateur plus puissant. Sur ces systèmes dits 48 V, le générateur récupère l'énergie de freinage et la convertit en électricité. Il sert aussi de moteur électrique couplé au moteur thermique, autorisant quelques mètres au démarrage ou une manœuvre de parking sans consommer de carburant.

Lorsqu'on monte en gamme, l'hybridation devient plus importante et permet au véhicule de parcourir 2 à 5 km en mode électrique. C'est bien sûr le cas de la fameuse Toyota Prius qui allie un moteur essence à un moteur électrique, mais aussi des Citroën DS5 ou Peugeot 508 Hybrid4 qui sont, elles, des hybrides diesels. Selon l'Ademe, le gain de consommation oscille entre 10 et 30 % en fonction de l'utilisation, la ville étant, là encore, le terrain où cette amélioration est la plus sensible.

95 gr
de CO_2
par kilomètre en moyenne, c'est l'objectif imposé aux constructeurs pour 2020 (contre 150 g mesurés en 2007 en France).

L'hybride rechargeable, réservé aux voitures chères

Dernière tendance, les hybrides rechargeables. Les batteries sont plus grosses et rechargeables sur secteur. Elles affichent une autonomie de 20 à 50 km, suffisante pour parcourir la plupart des trajets quotidiens. C'est le concept idéal puisque le véhicule est électrique en ville, n'émettant pas de CO_2, et thermique pour les longs trajets. Idéal sur le papier mais ▸

le coût est prohibitif. L'hybride rechargeable démarre à 38 000 € pour une Prius, avec une aide de l'État de 4000 €. Le concept reste donc réservé aux segments supérieurs, SUV, sportives ou routières : le Mitsubishi Outlander PHEV (à partir de 43 900 €), la Volvo V60 hybride diesel (à partir de 57 190 €), l'Audi A3 Sportback e-tron (à partir de 99 000 €).

Électrique intégral ou électrique « prolongé » ?

La voiture du futur sera probablement tout électrique, mais ce n'est pas pour 2020. Renault est quasi le seul à s'y accrocher, sans grand succès pour l'instant. De son côté, Opel tient peut-être un bon compromis entre hybride et tout-électrique. En 2011, le constructeur a lancé l'Ampera (à partir de 34 300 €), une auto électrique rechargeable sur secteur et équipée d'un prolongateur d'autonomie thermique. Les roues sont entraînées par un moteur électrique dont l'autonomie est de 40 à 80 km. Mais un moteur thermique se met en marche pour servir de générateur et se substituer aux batteries déchargées, portant l'autonomie à 500 km, selon Opel. Le concept a été repris de manière un peu différente par BMW qui a présenté cette année sa i3 *(voir p. 108)*, une citadine dotée, en plus du moteur électrique, d'un petit générateur thermique et d'un réservoir de 9 l de carburant. En mode électrique, la voiture parcourt jusqu'à 160 km selon BMW. Ce prolongateur thermique, en option, rajouterait 240 à 300 km. De quoi s'aventurer en dehors des villes.

Mais quels que soient les efforts des constructeurs en termes de consommation, c'est toujours le conducteur qui a le dernier mot. En adoptant l'éco-conduite *(lire ci-contre)* il peut abaisser jusqu'à 20 % sa consommation. Simple et efficace ! ■ **O. H.**

ÉCO-CONDUITE

Ces technologies qui incitent les conducteurs à plus de sobriété

Moins consommer, cela dépend aussi de l'attitude au volant. De nombreuses solutions apparaissent pour nous faire prendre de bonnes habitudes.

IFPEN

Les « applis » d'éco-conduite se multiplient (ici Geco de l'Ifpen).

Jusqu'à 20 % d'économie... Pratiquer « l'éco-conduite » influe fortement sur la consommation d'un véhicule. Les sites foisonnent sur le Web qui prodiguent des conseils relevant la plupart du temps du simple bon sens : adopter une conduite souple sans à-coups, utiliser le régulateur de vitesse sur autoroute, couper le moteur lors de longs arrêts, utiliser modérément la climatisation, soigner l'entretien, vérifier la pression des pneus... Ces points font d'ailleurs partie des questions posées lors de l'examen du code de la route depuis quelques années. Des formations sont aussi proposées par des organismes spécialisés. À bord, l'ordinateur de nombreux véhicules permet de suivre sa consommation instantanée — les indications étant globalement fiables — et certains modèles intègrent un indicateur suggérant les changements de rapport idéaux en fonction du type de conduite, de la vitesse, du relief... Les hybrides et les électriques, capables de récupération d'énergie au freinage, indiquent un bilan énergétique, comme la Renault ZOE qui établit un profil d'éco-conducteur et un bilan de chaque trajet. Certains systèmes de navigation proposent un calcul du trajet le plus économique, comme les Garmin nüvi avec fonction ecoRoute. L'information sur le trafic en temps réel aide aussi à économiser du temps et du carburant. Mais ce sont les smartphones qui offrent les fonctionnalités les plus étendues. Les « applis » proposant une analyse et un coaching d'éco-conduite sont nombreuses et gratuites. Toutes fonctionnent avec le capteur de mouvements du téléphone et la plupart activent la fonction de géolocalisation, à l'instar de Geco, de l'IFP Énergies nouvelles (Ifpen). Plutôt ludiques et éducatives, elles délivrent un score et un résumé du trajet sous forme de statistiques d'accélération, de freinage, de vitesse, etc., pour s'améliorer ou se comparer à d'autres conducteurs inscrits sur les réseaux sociaux. Lorsque le smartphone est directement connecté au véhicule, moyennant un boîtier Bluetooth comme le XeeEcodrive, la précision des données prises en compte est alors plus élevée car celles-ci proviennent directement du calculateur moteur et non d'un algorithme.

Certaines applications sont couplées à des offres commerciales : aux États-Unis, un service propose ainsi des cadeaux aux conducteurs méritants. EffiDriver récompense l'éco-conduite par des « *miles* » donnant droit à des réductions. En France, les assureurs se lancent sur ce marché. Axa propose l'application Axa Drive. Chez Direct Assurance, Youdrive module la prime d'assurance des jeunes conducteurs selon le score réalisé à chaque trajet. Une réduction qui pourrait aller jusqu'à 600 euros par an... A condition d'installer un boîtier dans la voiture qui récupère les mêmes informations que le smartphone. **N. V.**

GM

En soufflerie, la Chevrolet Corvette Stingray affiche une faible traînée. Ses matériaux légers lui confèrent aussi un très bon rapport poids/puissance.

STRUCTURE

Les constructeurs innovent pour alléger les châssis

Les nouveaux matériaux, l'aérodynamisme et l'optimisation des réseaux électriques jouent un rôle essentiel dans la course à la réduction de la consommation des voitures.

LES AUTORITÉS FRANÇAISES L'ONT DEMANDÉ, les constructeurs y travaillent, les automobilistes en rêvent. Une voiture du gabarit d'une Clio, aussi performante et économiquement abordable pour une consommation divisée par deux sera peut-être une réalité dès 2020. Les améliorations apportées aux moteurs y contribueront grandement *(lire p. 122)*. Mais de nombreux autres facteurs entrent en ligne de compte, dont aucun n'est à négliger dans cette course à l'économie. Ils ont été inventoriés dans le cadre du projet « Véhicule 2 l/100 km » confié par le gouvernement français en 2012 à la Plateforme de la filière automobile (PFA) et s'inscrivant dans le plan de la Nouvelle France industrielle. Trois démonstrateurs présentés au Mondial de l'automobile à Paris montrent les avancées obtenues par les groupes de travail constitués des différents fournisseurs, équipementiers et instituts de recherche impliqués, et des trois constructeurs Renault, Peugeot et Citroën. Ces derniers cherchent en l'occurrence — à rebours de leurs stratégies divergentes sur les moteurs à hybridation — à mutualiser les briques technologiques mises en œuvre pour améliorer le rendement des véhicules. Premier objectif : la réduction du poids. Avec le renforcement des normes de sécurité et des équipements de confort, les voitures ont pris de l'embonpoint, ennemi de la sobriété. Les constructeurs visent une baisse de 20 % du poids sur les prochaines générations. Pour y parvenir, l'adoption de matériaux légers comme l'aluminium, le magnésium, les thermoplastiques et les composites — fibres de carbone notamment — se révèle une solution efficace : à volume égal, les composites carbone sont en effet jusqu'à 60 % moins lourds que l'acier. Mais tous ▶

2 litres

aux 100 km, c'est le défi lancé aux constructeurs français par le plan Nouvelle France industrielle.

ont un prix élevé, acceptable uniquement pour des modèles haut de gamme. D'où la mise en place par le PFA du projet Force (Fibre optimisée réaliste carbone économique) pour le développement en France d'une fibre de carbone économique à base de matériaux d'origine biologique (lignine, cellulose). Le coût final espéré est de 7 à 8 € le kg, soit une division par deux du prix.

Les roues : une mine pour les gains de rendement

Autre point crucial, l'aérodynamique. L'adoption de rétrocaméras permettrait de se défaire à terme des rétroviseurs qui opposent une coûteuse résistance à l'air. Les ingénieurs se concentrent aussi sur les roues, notamment sur l'écoulement de l'air au niveau du train avant et des roues arrière et sur l'adoption de jantes en forme de turbine aspirant ou soufflant l'air et participant ainsi à l'écoulement du flux et au refroidissement des freins. Quant aux pneumatiques, par ailleurs éléments de friction, ils sont un facteur clé de l'aérodynamisme du véhicule et ont aussi un rôle crucial à jouer. Les manufacturiers travaillent sur la définition de nouvelles dimensions, avec une préférence pour des pneus étroits et hauts qui offrent moins de résistance. Mais leur intégration au design du véhicule paraît délicate : les consommateurs risquent de ne pas accorder leur confiance à une voiture semblant perchée sur des roues de bicyclette.

VOLVO

La soufflerie du constructeur Volvo permet de tester l'aérodynamisme des roues dans des flux d'air à 250 km/h.

Le profil des pneumatiques (bande de roulement et flancs) est également concerné. Le type de gomme doit être soigneusement étudié pour gagner en résistance au roulement mais sans perdre trop d'efficacité en tenue de route et en freinage, sur terrains secs ou mouillés, et sans négliger le confort.

La consommation électrique, offre également quelques pistes à explorer pour un meilleur rendement global : un redimensionnement à 48 V du réseau et de nouveaux alternateurs pour satisfaire aux besoins croissants des véhicules (climatisation, pare-brise chauffant, ABS/ESP...), l'optimisation de la climatisation, etc. Enfin, la conduite elle-même peut être assistée, voire assumée par le véhicule dans le cas d'une phase de conduite autonome, pour une meilleure efficacité énergétique, à condition qu'il soit connecté et capable d'anticiper le contexte de circulation et l'infrastructure *(lire p. 118)*. Tous les moyens sont bons pour passer sous la sacrosainte barre des 50 g/km de CO_2 correspondant, en motorisation essence, à une consommation de 2 l/100 km. De quoi se rire de la norme d'émissions moyennes, fixée par la Commission européenne pour les constructeurs à 95 g/km en 2020. ■ **N. V.**

NOTRE SÉLECTION ÉCOLOGIQUE

Renault

Twingo
Avec moins de 4,3 l/100 km, ses moteurs (3 cylindres essence, turbo ou non) restent sous la barre des 100 g de CO_2/km.
À partir de 10 800 €

Peugeot

508
Les plus faibles émissions de CO_2 de sa catégorie (150 ch) avec le moteur 2.0 BlueHDI et ses 105 g/km, soit moins que le 1,6 e-HDI d'entrée de gamme.
À partir de 24 750 €

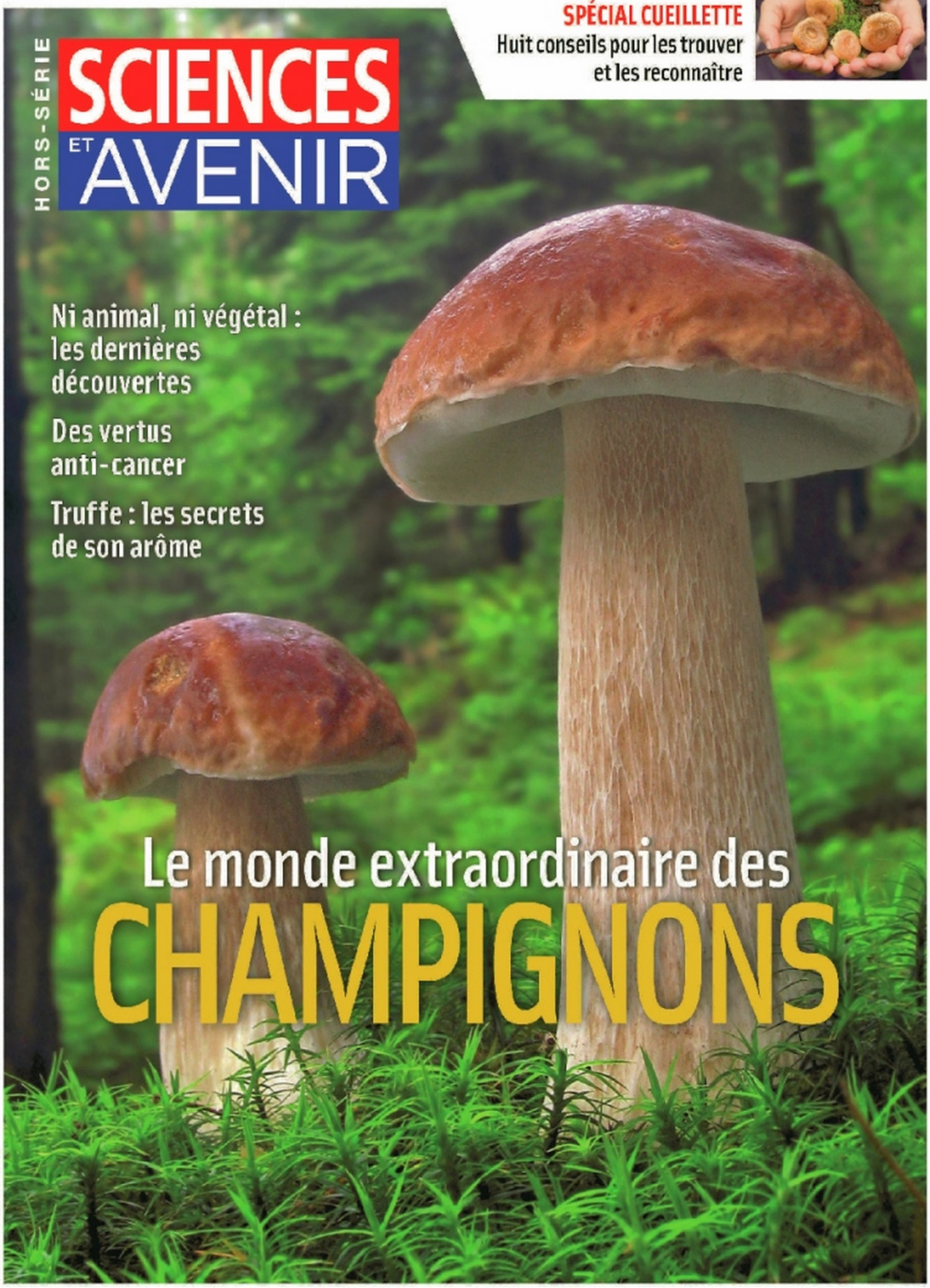
Skoda

Fabia
Jusqu'à -17 % de consommation selon le constructeur L'an prochain, la version « verte » GreenLine du 1,4 l diesel atteindra 3,1 l/100 km.
Prix estimé à partir de 12 500 €

Opel

Corsa
3,2 l/100 km (85 g/km de CO_2) pour son diesel 1,3 l CDTI de 95 ch ecoFlex, grâce au « start/stop », et à la récupération d'énergie au freinage. **N. V.**
Prix à partir de 11 990 €

HORS-SÉRIE



en vente en kiosque

McLAREN

McLaren P1. L'aérodynamique et l'appui au sol ont été particulièrement soignés sur ce modèle hybride. 963 ch, 350 km/h.

FERRARI

Ferrari LaFerrari. Inspirée d'une Formule 1, elle a été développée avec l'aide du service compétition et des pilotes. 963 ch, plus de 350 km/h.

SUPERCARS

La course à la puissance passe par l'électrique

Homologuées pour la route, ces sportives surpuissantes se convertissent aux motorisations hybrides pour davantage de performances.

MILLE CINQ CENTS CHEVAUX, 460 km/h, 13 s pour passer de 0 à... 300 km/h... On attribuerait davantage ces performances aux Formule 1 qu'aux voitures homologuées pour la route, et pourtant ! La course à la puissance atteint des sommets. Ainsi, dix ans après avoir franchi la barre symbolique des 1000 chevaux, Bugatti — la marque du groupe Volkswagen — pourrait bien proposer 1500 chevaux pour son prochain modèle. Mais la concurrence est rude sur ce créneau des voitures surpuissantes, nommées les supercars. L'américain Hennessey, dont la Venom GT a été inscrite au livre Guinness des records pour son accélération (0-300 km/h en 13,63 s), annonce déjà un bolide affichant 466 km/h en vitesse de pointe. Et le rapport poids-puissance, autre indicateur majeur de sportivité d'une automobile, connaît lui aussi des améliorations remarquables. Quelques modèles arrivent désormais au chiffre mythique d'un kilogramme par cheval-vapeur comme la suédoise Koenigsegg One:1 avec ses 1340 ch (soit 1000 kW) et autant de kilos sur la balance. De quoi séduire les amateurs fortunés : les six unités prévues de la One:1 ont déjà été vendus pour des sommes à sept chiffres par exemplaire... Les ingénieurs, qui commencent à maîtriser les solutions d'hybridation, de « downsizing » (réduction de la cylindrée) et d'allégement pour les voitures de grande série *(lire p. 125)*, étendent ces idées à ce créneau élitiste. Ainsi, en un an, les plus prestigieux constructeurs comme Ferrari, Porsche, McLaren et BMW s'y sont mis, en attendant Honda et d'autres. Pour reprendre son leadership en performances extrêmes, Bugatti devra très certainement opter pour une solution hybride, sur la base de son moteur thermique à 16 cylindres de 8 litres.

13,63

secondes pour accélérer de 0 à 300 km/h : c'est la performance record de la Venom GT commercialisée par l'américain Hennessey.

L'hybridation électrique présente de nombreux avantages sur ce segment privilégiant la performance, outre celui d'en réduire les émissions de CO_2 comme l'exige l'Europe. Car contrairement à ce que l'on pourrait penser, l'adjonction d'un moteur électrique offre des niveaux de performances et d'efficacité supplémentaires, permettant ainsi d'offrir des sensations de conduite inédites et très recherchées par les conducteurs de tels « jouets ».

KOENIGSEGG

Koenigsegg One:1. Un rapport poids/puissance record pour une « routière », avec 1340 ch pour autant de kilos. Seulement six exemplaires prévus.

Le couple – ou puissance de traction – développé est en effet disponible immédiatement. Ainsi, à bord d'une McLaren P1 dotée d'un puissant V8 thermique conventionnel, le moteur électrique supplée le temps de réponse à l'accélération des deux turbos. En outre, il permet de parcourir 10 km en « tout-électrique ». Au total, le groupe moto-propulseur cumule 916 ch (737 en essence et 179 en électrique), une puissance disponible d'une simple pression sur un bouton situé sur le volant.

Le poids des batteries est mis à profit pour la stabilité

Un second bouton permet de réduire la pression aérodynamique pour privilégier encore la vitesse pure. Et pourtant le constructeur n'annonce officiellement « que » 200 g/km d'émissions de CO_2 en cycle mixte pour son modèle. Ferrari n'est pas en reste. Le constructeur italien a, lui aussi, intégré un moteur électrique baptisé Hy-Kers à sa dernière supercar, très proche de celui de ses monoplaces de F1, alimenté notamment par l'énergie récupérée au freinage. Résultat, la LaFerrari, comme elle a été nommée, est la voiture « de route » la plus rapide de l'histoire de la marque. Mais seuls 499 clients pourront apprécier ses 963 ch au total, à environ 1,2 million d'euros. Chez Porsche, c'est la 918 Spyder qui fait l'objet de toutes les attentions. D'un côté, elle a battu en 2013 le record du tour sur le circuit de référence, le Nürburgring, en Allemagne. De l'autre, elle est homologuée pour 72 g/km de CO_2, soit 3,1 l/100 km (à la faveur du mode de calcul officiel, flatteur pour les hybrides rechargeables) — moins qu'une Toyota ▶

TECHNOLOGIE HYBRIDE

Les supercars, héritières des F1

Si les constructeurs lancent des supercars hybrides, c'est avant tout parce que ces technologies ont fait leurs preuves en compétition. Ferrari, McLaren ou Renault alignent en effet depuis cette année des F1 hybrides consommant 35 % de moins, en conformité avec la nouvelle réglementation *(lire* S. et A. *n° 805, mars 2014)*. Audi gagne les 24 Heures du Mans depuis trois ans sur une hybride avec récupération de l'énergie cinétique. Et McLaren fournit le moteur de toutes les monoplaces du tout nouveau championnat de Formule E (formule électrique) avec la Spark-Renault *(lire* S. et A. *n° 811, septembre 2014)*. Autant d'atouts écologiques bons pour l'image des constructeurs et qui entraînent dans leur sillage des versions routières. Ainsi, les pneus Michelin des Formule E ont des dimensions plus proches de ceux des voitures de série et sont étudiés pour rouler par temps sec et humide. Autre voie de recherche, les nouveaux moteurs de F1 reçoivent un système de récupération d'énergie qui interagit avec le turbo, bénéficiant de son énergie cinétique ou l'aidant à entrer en action, selon les phases de conduite. Une application que l'on retrouvera sans doute sur les prochaines supercars.

◀ **Le prototype Venturi VBB** détient le record de vitesse en électrique avec 495 km/h.

VENTURI AUTOMOBILES

TOUT-ÉLECTRIQUE

Un compromis idéal pour la vitesse extrême

Avec un couple moteur efficace et disponible immédiatement, se traduisant par une puissance de traction importante à des régimes moteur bas, la propulsion tout électrique est capable d'offrir des sensations inédites à l'accélération. Mais la vitesse de pointe, forte consommatrice d'énergie, doit cependant être limitée pour ne pas trop réduire l'autonomie. C'est cette voie qu'ont choisie certains fabricants de sportives futuristes, notamment l'américain Tesla, dont la Model S est forte de 421 ch (4,4 s de 0 à 100 km/h, 210 km/h et 500 km d'autonomie théorique). Loin de la Californie, de petits artisans français comme Pariss ou Exagon cherchent aussi à se lancer sur ce segment, rejoignant le franco-monégasque Venturi qui vend au compte-gouttes des modèles très exclusifs comme la Fetish et détient le record de vitesse en motorisation électrique avec son prototype VBB qui atteint 495 km/h.

▶ Prius —, et elle peut parcourir 30 km en mode électrique seul. Sa puissance de 887 ch, dispensée par un moteur thermique et deux électriques, est modulable selon cinq modes différents. Une suspension active, quatre roues motrices et directrices et des freins en céramique assurent un comportement à la hauteur des performances.

Certes, comme pour tous les autres modèles hybrides, les batteries et les moteurs électriques augmentent sensiblement le poids du véhicule, soit environ 300 kilos supplémentaires dans le cas de la Porsche, mais, contrairement à ce qui prévaut pour les voitures de série, les constructeurs peuvent ici opter pour l'emploi massif de matériaux ultralégers ; leur coût n'est en effet pas dissuasif sur des voitures aussi chères. D'autant que la position des lourdes batteries, intégrées dans le tunnel central pour la BMW i8, contribuent à abaisser le centre de gravité et donc à améliorer le comportement de la voiture. L'i8 est ainsi une hybride rechargeable qui, si elle est moins puissante (362 ch) et moins chère (près de 142 000 €) que d'autres modèles proches, n'en est pas moins unique. Son poids « plume » de moins de 1,5 tonne est obtenu grâce au choix d'une structure carbone et aluminium et un minimoteur thermique 3 cylindres de 1,5 l et 231 ch qui lui offre un rendement exceptionnel, le moteur électrique venant en renfort. Résultat, un équilibre prestations-émissions-performances — 49 g/km et un excellent temps de 22,8 s au km départ arrêté — qui assure à BMW une bonne place dans la course à la sportive de demain. ■ **N. V.**

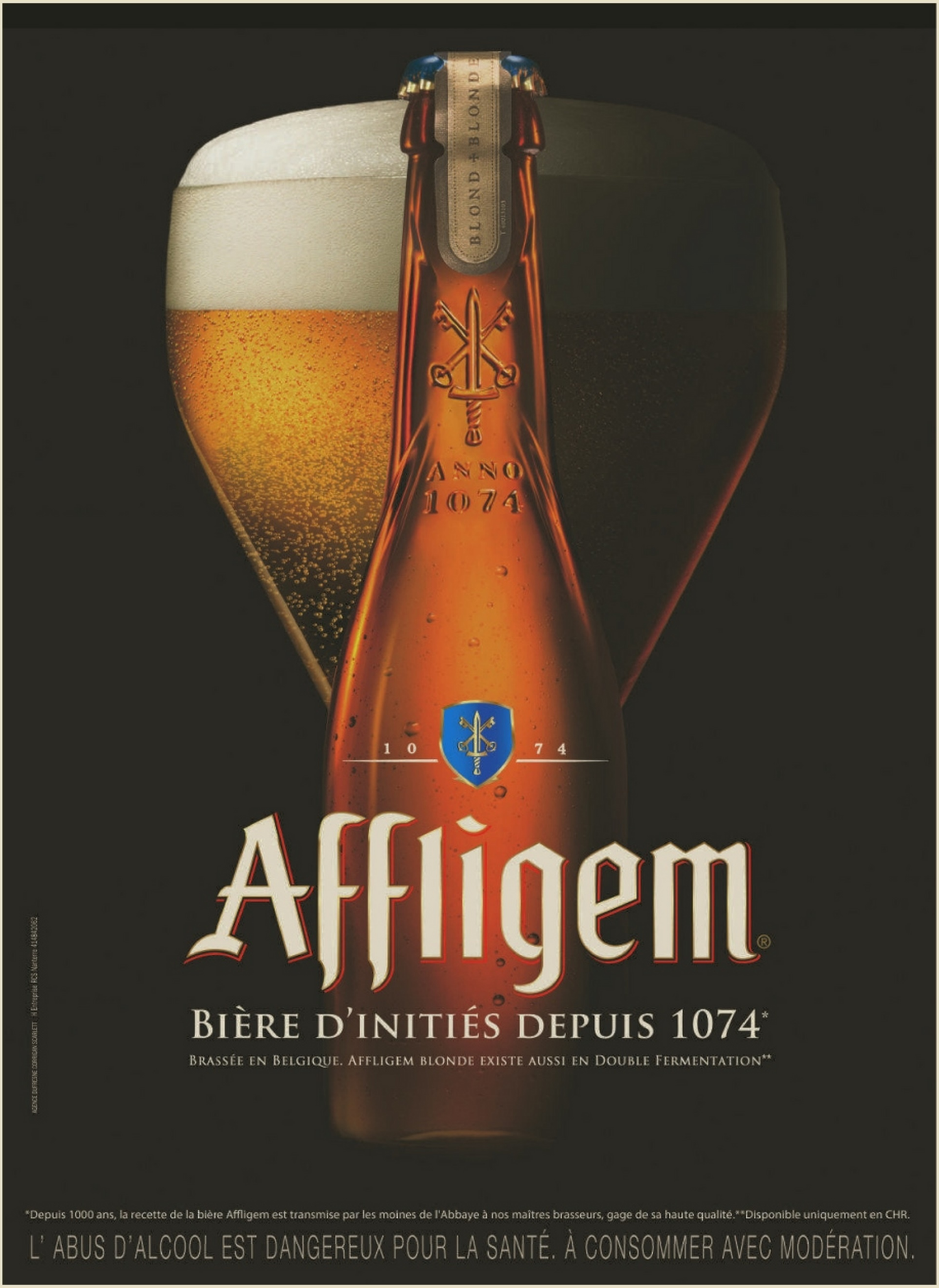
PORSCHE

Porsche 918 Spyder.
Détentrice du record du tour au Nürburgring (Allemagne).
887 ch, 345 km/h.

BMW

BMW i8.
La plus écolo avec 49 g de CO_2 /km homologués.
362 ch, 250 km/h.

Et si mon secret beauté était le balnéomassage...
Delphine Wespiser,
Miss élue par tous les français en 2012.
Maquillage : Arnaud Sol Dourdin Photographe : Pierre-Emmanuel Rastoin. Agence de création : hypnoz
Comme notre "Miss Bien-Être", découvrez les effets relaxants et tonifiants
d'une séance de balnéomassage en choisissant, parmi les 10 systèmes de massage
et 29 baignoires, la formule la mieux adaptée à vos envies et à vos besoins.
GRANDFORM
CRÉATEUR DE BIEN-ÊTRE
WespiserD
Grandform
Pour un renseignement N° Vert 0 800 05 15 25
Numéro gratuit
8 rue d'Aboukir - 75002 Paris / www.grandform.fr
Fabrication Française


BLOND + BLONDE
ANNO
1074
1074
Affligem
BIÈRE D'INITIÉS DEPUIS 1074*
BRASSÉE EN BELGIQUE. AFFLIGEM BLONDE EXISTE AUSSI EN DOUBLE FERMENTATION**
*Depuis 1000 ans, la recette de la bière Affligem est transmise par les moines de l'Abbaye à nos maîtres brasseurs, gage de sa haute qualité.**Disponible uniquement en CHR.
L' ABUS D'ALCOOL EST DANGEREUX POUR LA SANTÉ. À CONSOMMER AVEC MODÉRATION.